

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
ODJEL ZA BIOLOGIJU

Diplomski sveučilišni studij Biologija i kemija; smjer: nastavnički

Katarina Peharda

FUNKCIONALNE SKUPINE FITOPLANKTONA RIJEKE DRAVE

Diplomski rad

OSIJEK, 2016.

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

---

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Diplomski rad

Odjel za biologiju

Diplomski sveučilišni studij Biologija i kemija; smjer: nastavnički

Znanstveno područje: Prirodne znanosti

Znanstveno polje: Biologija

### FUNKCIONALNE SKUPINE FITOPLANKTONA RIJEKE DRAVE

Katarina Peharda

**Rad je izrađen:** Zavod za ekologiju voda

**Mentor:** Dr. sc. Melita Mihaljević, izv. prof.

#### Kratak sažetak diplomskog rada:

Kako se tradicionalna taksonomska klasifikacija pokazala nedovoljno osjetljivom, u ovom je radu s ciljem boljeg razumijevanja i praćenja promjena fitoplanktona riječnog ekosustava korišten koncept funkcionalnih skupina kojeg je definirao Reynolds i sur. (2002), a revidirala Padisák i sur. (2009). Istraživanja kvalitativnog i kvantitativnog sastava potamoplanktona i fizikalno-kemijskih svojstava rijeke Drave obavljena su na jednom lokalitetu, desnoj obali grada Osijeka, tijekom proljetnog razdoblja, u ožujku i travnju 2016. godine. S obzirom da analizirana dionica pripada donjem toku velikih nizinskih rijeka, fitoplanktonska je zajednica bila dobro razvijena i imala je raznoliko podrijetlo. Uz planktonske, brojne su bile bentoske vrste zbog turbulentnosti toka. Rezultati su ukazali i na važnost utjecaja hidroloških prilika na bioraznolikost i brojnost planktona. Ukupno je utvrđeno 142 svojte, a najveći je broj svojta pripadao odjeljcima Chrysophyta i Chlorophyta. Dominantne funkcionalne skupine bile su **C**, **D**, **E**, **H1**, **MP** i **P**, karakteristične za turbulentna, turbidna staništa bogata nutrijentima. Više od 80% ukupne biomase činile su dijatomeje tipične brzorastuće proljetne vrste iz dominantnih skupina **C** (*Cyclotella meneghiniana*) i skupine **D** (*Stephanodiscus hantzschii*). Funkcionalne su se grupe pokazale kao dobar indikator fitoplanktona rijeke Drave ranoproljetnog razdoblja.

**Broj stranica:** 88

**Broj slika:** 39

**Broj tablica:** 4

**Broj literaturnih navoda:** 111

**Broj priloga:** 1

**Jezik govornika:** hrvatski

**Ključne riječi:** potamoplankton, nizinske tekućice, rijeka Drava, funkcionalne skupine, biomasa

**Datum obrane:** 29. rujna 2016. godine

**Stručno povjerenstvo za obranu:**

1. **Dr. sc. Janja Horvatić, izv. prof.,** predsjednik
2. **Dr. sc. Melita Mihaljević, izv. prof.,** mentor
3. **Dr. sc. Enrih Merdić, prof.,** član
4. **Dr. sc. Dubravka Špoljarić-Maronić, doc.,** zamjena člana

**Rad je pohranjen u:** U knjižnici Odjela za biologiju Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku i u Nacionalnoj sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu, u elektroničkom obliku, te je objavljen na web stranici Odjela za biologiju.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

---

University Josip Juraj Strossmayer in Osijeku

MS thesis

Department of Biology

Graduate university study programme in Biology and Chemistry Education

Scientific Area: Natural science

Scientific Field: Biology

### PHYTOPLANKTON FUNCTIONAL GROUPS OF THE RIVER DRAVA

Katarina Peharda

**Thesis performed at:** Subdepartment of Water Ecology

**Supervisor:** Melita Mihaljević, PhD, Assistant Professor

#### Short abstract:

As the traditional taxonomic classification proved insufficiently sensitive, concept of functional groups, defined by Reynolds et al. (2002) and revised by Padisák et al. (2009), was used in this thesis with the aim of better understanding and monitoring changes of phytoplankton in river ecosystems. Qualitative and quantitative analysis of potamoplankton communities and physico-chemical properties of the River Drava were conducted at one site, the right bank of the city Osijek, during the spring period, in March and April 2016. As analyzed section is belonging to the downstream course of large lowland rivers, phytoplankton community was well developed and had diverse origin. In addition to real planktonic vegetation, most numerous were benthic species due to turbulent flow. Results showed the importance of hydrological conditions in plankton biodiversity and abundance. With a total of 142 found taxa, the largest number of species were represented by Chrysophyta and Chlorophyta. Dominant functional groups were **C**, **D**, **E**, **H1**, **MP** and **P** characteristic for turbulent, turbid habitats rich in nutrients. More than 80% of the total biomass accounted for diatoms, typical fast-growing species of dominant group **C** (*Cyclotella meneghiniana*) and group **D** (*Stephanodiscus hantzschii*). Functional groups proved to be excellent indicator of fitoplankton found in River Drava during early spring period.

**Number of pages:** 88

**Number of figures:** 39

**Number of tables:** 4

**Number of references:** 111

**Number of appendices:** 1

**Original in:** Croatian

**Key words:** potamoplankton, lowland watercourses, river Drava, functional groups, biomass

**Date of the thesis defence:** 29<sup>th</sup> September 2016

#### Reviewers:

1. Janja Horvatić, PhD, Associate Professor, president
2. Melita Mihaljević, PhD, Associate Professor, mentor
3. Enrih Merdić, PhD, Full Professor, reviewer
4. Dubravka Špoljarić-Maronić, PhD, Assistant Professor, substitute reviewer

**Thesis deposited in:** Library of Department of Biology, University of J.J. Strossmayer Osijek and in National university library in Zagreb in elektronic form. It is also disposable on the wb site of Department of Biology, University of J.J. Strossmayer Osijek.

*Najljepše se zahvaljujem izv. prof. dr. sc. Meliti Mihaljević na mentorstvu, stručnim savjetima i vodstvu, prenesenom znanju te nesebično ukazanoj pomoći tijekom izrade ovog diplomskog rada.*

*Doc. dr. sc. Dubravki Špoljarić-Maronić i doc. dr. sc. Tanji Žuni-Pfeiffer veliko hvala na brojnim sugestijama i pomoći u determinaciji fitoplanktonskih vrsta, a prvenstveno na susretljivosti i ljubaznosti.*

*Prof. Vandi Zahirović zahvaljujem na izdvojenom vremenu i pomoći u terenskom i praktičnom radu.*

*Posebno se želim zahvaliti svojoj obitelji i roditeljima koji su mi bili oslonac i podrška tijekom svih godina školovanja. Sestri i prijateljima hvala na razumijevanju, potpori te što su mi svojim prisustvom uljepšali vrijeme provedeno na fakultetu.*

## SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
1.1. Opće značajke riječnih ekoloških sustava .....	1
1.2. Ekologija riječnog fitoplanktona.....	4
1.3. Eutrofikacija velikih rijeka .....	10
1.4. Pregled dosadašnjih istraživanja rijeke Drave .....	12
1.5. Cilj istraživanja .....	15
2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA .....	16
3. MATERIJALI I METODE .....	21
3.1. Razdoblje i postaja istraživanja .....	21
3.2. Analiza fizikalno-kemijskih svojstava vode.....	22
3.3. Kvalitativna i kvantitativna analiza fitoplanktona .....	25
3.4. Determinacija algi kremenjašica .....	27
4. REZULTATI.....	30
4.1. Rezultati analize fizikalno-kemijskih svojstava vode .....	30
4.2. Kvalitativni sastav fitoplanktona .....	36
4.3. Kvantitativan sastav fitoplanktona.....	43
4.4. Funkcionalne skupine fitoplanktona .....	46
5. RASPRAVA .....	54
6. GLAVNI REZULTATI I ZAKLJUČAK .....	62
7. METODIČKI DIO.....	63
8. LITERATURA .....	76
9. PRILOZI .....	87

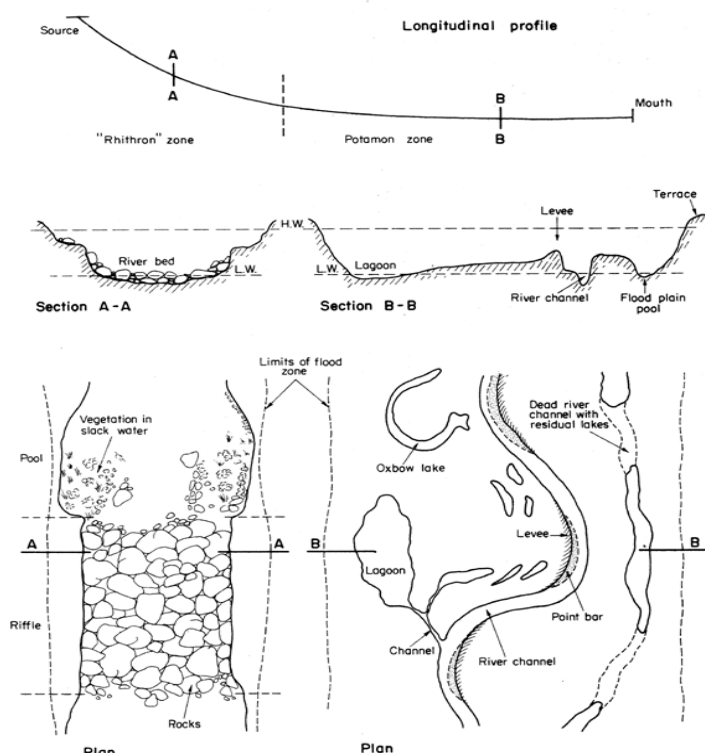
# 1. UVOD

## 1.1. Opće značajke riječnih ekoloških sustava

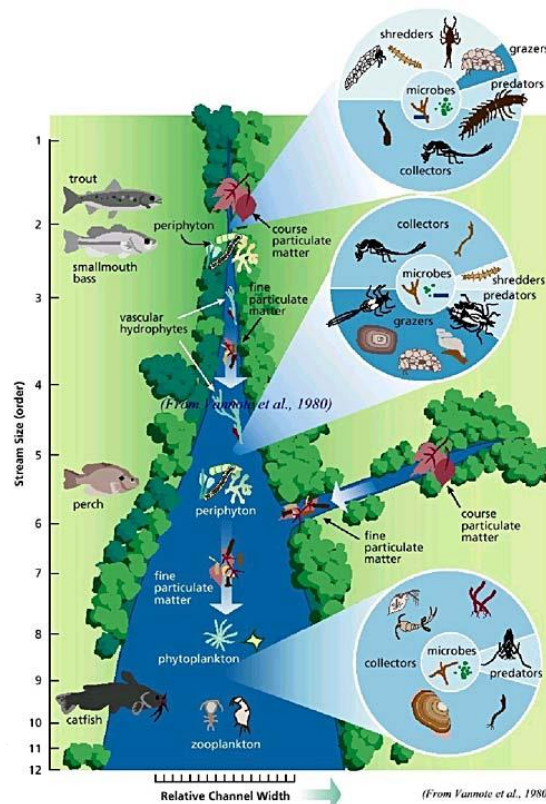
Vode na kopnu mogu se podijeliti na tekućice, stajaćice i podzemne vode. Izvori, potoci i rijeke pripadaju tekućim kopnenim vodama, dok lokve, bare, močvare i jezera nazivamo stajaćim vodama (Kerovec, 1988). Usmjereno kretanje vode ili protok vode primaran je čimbenik po kojemu se tekućice ili lotički ekološki sustavi razlikuju od stajaćica, odnosno lentičkih ekosustava (Lampert i Sommer, 2007). Disipacijska energija vodene mase u pokretu utječe na morfologiju tekućice, sedimentacijske procese i kemijska svojstva vode te na biologiju organizama nastanjenih u rijeci (Wetzel, 2001). Za razliku od horizontalnog profila jezera, tekućice imaju longitudinalni profil koji se može podijeliti na nekoliko zona (izvor, gornji, srednji i donji tok) sa različitim ekološkim karakteristikama (Dooge, 2009).

Suprotno stajaćicama, u tekućicama su eliminirani gotovo svi vertikalni gradijenti kao što su primjerice gradijenti temperature i kisika, izuzev gradijenta svjetlosti, zbog velike turbulencije i konstantnog miješanja vode. Umjesto toga, rijeke karakterizira longitudinalni temperaturni gradijent od izvora do ušća. Izvori imaju relativno nisku, stalnu temperaturu vode koje je određena prosječnom godišnjom temperaturom okolnoga područja. S nizvodnim tokom, temperatura vode mijenja se kako se mijenja temperatura zraka. Rezultat je povećanje temperature vode tijekom ljeta te smanjenje zimi krećući se od izvora prema ušću. Uz temperaturni, tekućice imaju i uzdužni gradijent otopljenih plinova. Podzemna izvorska voda ima nisku koncentraciju kisika, ali se ovaj deficit brzo nadoknađuje gotovo 100%-tnom saturacijom zbog konstantne izmjene plinova između potoka i atmosfere što je dodatno potaknuto turbulencijom vode (Lambert i Sommer, 2007). U pravilu, koncentracija kisika se smanjuje, a količina ugljikova dioksida raste od izvora prema ušću (Kerovec, 1988). Deficit kisika donjeg toka nastaje zbog: smanjene stope difuzije između atmosfere i velikog volumena vode ispod površine; nagomilavanja organske tvari (velike bakterijske aktivnosti) i smanjene stope fotosinteze alga brzih rijeka. Rijeke karakteriziraju i dnevne fluktuacije u koncentraciji kisika. Veće vrijednosti kisika zabilježene su tijekom dana zbog fotosintetske aktivnosti alga i vodenoga bilja, a manje tijekom noći zbog potrošnje kisika razgradnjom organske tvari (npr. otpaloga lišća). Dakle, navedene su fluktuacije rezultat biološke aktivnosti, a ne fizičkih čimbenika kao što je temperatura koja bi imala suprotni učinak na koncentraciju plinova (Lambert i Sommer, 2007).

Distribucija organizama, resursa i bioloških procesa mijenja se duž riječni tok i ovisna je o procesima na široj razini (klimi, hidrologiji, geomorfologiji) i biotičkim procesima na lokalnoj razini. Stoga su u opisu različitih dijelova riječnoga sustava predložene mnoge klasifikacije temeljene na fizičkim karakteristikama i biološkom sastavu faune. Tako Illies i Botosaneanu (1963) u uzdužnom profilu rijeke razlikuju dva glavna dijela; ritron i potamon (Slika 1). Ritron obuhvaća zonu gornjeg toka rijeke kojeg karakterizira niska temperatura (ispod 20 °C) i velika koncentracija otopljenoga kiska u vodi te izmjena uskog i plitkog područja strmih brzaca sa područjem širih i dubljih „bazena“. Brzaci su odlikovani brzim i turbulentnim strujanjem vode, grubim kamenitim, stjenovitim ili šljunkovitim dnom te plutajućom vegetacijom, a „bazeni“ sporijim protokom, finijim sedimentom i pokojim zakorijenjenim vrstama. Na ritron se nadovezuje ekološki kompleksnija zona donjeg toka rijeke ili potamon kojeg opisuju uvjeti više temperature, manje koncentracije kisika i brzine strujanja vode. Ova se zona sastoji od širokih meandrirajućih kanala s muljevitim dnom okruženim poplavnom ravnicom. Osim plutajućih i zakorijenjenih makrofita, biološkoj raznolikosti doprinosi i fitoplankton; manje tijekom poplavnog, a više tijekom razdoblja suše dužih, sporih tokova (web 1).



Slika 1. Podjela uzdužnog profila rijeke na ritron (A) i potamon (B) prema Illies i Botosaneanu (1963) (Izvor slike: web 1)



Slika 2. Koncept riječnog kontinuuma prema Vannote i sur. (1980) (Izvor slike: web 2)

Geomorfolozi razlikuju potoke od većih rijeke na temelju karakteristika korita i porječja te tako kontinuum fizičkih značajki (širina korita, prosječna dubina, protok vode, površina porječja) pripisuju jednom nizvodnom sustavu (Wehr i Descy, 1998). Manje rijeke karakterizira površina porječja  $> 100 \text{ km}^2$ , srednje  $100\text{--}10\,000 \text{ km}^2$ , a velike rijeke  $> 10\,000 \text{ km}^2$ . Protok vode u velikim rijekama uglavnom premašuje vrijednost od 100 cfs ( $2,83 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Uglavnom, rijeke sadrže veću količinu vode i imaju stabilniji protok od manjih potoka, ali su na temelju ovoga pristupa, razlike između većih i manjih tekućica proizvoljne (Murdock i Dodds, 2008).

Prema ekološkim teorijama riječnih sustava kao što su koncept riječnoga kontinuuma (*River Continuum Concept*; RCC) (Vannote i sur., 1980) i model spiralnog protoka tvari (*Nutrient Spiraling Model*) (Newbold i sur., 1981), longitudinalni integrirani procesi su čimbenici koju utječu na resurse i funkcioniranje riječnog ekosustava. Koncept riječnog kontinuuma objašnjava smjenjivanje životnih zajednica i dominantnih zajednica pod utjecajem fizikalnih i kemijskih svojstava vode i dostupnih nutrijenata duž riječnoga toka (Slika 2). No, usprkos upitnosti primjene RCC-a na velike rijeke, na osnovi ove teorije nastala je definicija velikih rijeka kao tekućica od 6. do 12. reda (Strahler, 1957). Druga istraživanja predlažu jednostavno korištenje termina nizinskih i sporotekućih rijeka u opisu velikih rijeka jer je njihov metabolizam određen prisutnošću algi i ostalih *in situ* autotrofnih organizama. Prema nekim znanstvenicima, velike se nizinske rijeke treba promatrati kao sustave značajno drugačije od uzvodnih, gorskih riječnih sustava i stoga se treba posvetiti posebna pozornost njihovim ekološkim karakteristikama i problemima održavanja. Također, velike su rijeke najčešće definirane kao manipulirani ili regulirani ekosustavi (Wehr i Descy, 1998).



## 1.2. Ekologija riječnog fitoplanktona

Geologija i geografija, zajedno sa hidrologijom, ključni su čimbenici koji lotičke ekološke sustave čine više ili manje pogodnim biotopima za živuće organizme, bez obzira na turbulentnost riječnih sustava (Wetzel, 2001). Primarna produkcija u rijekama može biti bentička (perifiton i makrofitske biljke) ili planktonska (suspendirane alge) (Murdock i Dodds, 2006). Plankton predstavlja zajednicu organizama koji žive u vodenim staništima nošeni vodenim strujama. Plankton dijelimo na biljnu komponentu ili fitoplankton te na životinjsku komponentu, heterotrofne organizme koje čini zooplankton i protozoa. Fitoplankton čine autotrofni organizmi, jednostanične i kolonijalne alge te cijanobakterije koje imaju značajnu ulogu kako u jezerima i oceanima, tako i u funkcioniranju velikih riječnih ekosustava. Smatraju se primarnim organskim producentima, glavnim proizvođačima organskoga ugljika i najvažnijim izvorom kisika u lotičkim sustavima jer imaju sposobnost da uz sunčevu energiju obavljaju proces fotosinteze. Također, fitoplankton je značajan i kao izvor hrane planktivornim potrošačima te tako čini osnovu hranidbene piramide vodenih ekosustava (Reynolds 2006).

Jednosmjernan protok vode ograničavajući je čimbenik koji utječe na živi svijet tekućica. Ako manji organizmi nemaju mogućnost pričvršćivanja za stabilne podloge, biti će transportirani nizvodno utjecajem riječne struje, bez mogućnosti povratka na njihovo početno stanište. Stoga, riječni fitoplankton ili tkz. potamoplankton ne može opstati u turbulentnim rijekama. Riječni se plankton javlja jedino u područjima velikih, sporo protočnih tekućica u kojima je stopa ispiranja manja od stope reprodukcije planktonske populacije (Lambert i Sommer, 2007). Potamoplankton uglavnom nije karakterističan za gornje tokove rijeka, ali se razvija u nešto većim količinama u donjim tokovima, u kojima je u dužem odsječku slabo strujanje vode. Razvoj riječnog fitoplanktona zbiva se ako brzina vode nije veća od 1m/s. Osim hidrografskih zahtijeva, rijeke moraju biti i dovoljno dugačke kako bi podržale razvoj nekoliko generacija alga (Wetzel, 2001).

Opće je prihvaćena činjenica među znanstvenicima (Reynolds, 1988) da fitoplankton potoka i rijeka ima raznoliko podrijetlo. Pravi potamoplankton predstavljen je vrstama koje su nativne za rijeke ili vrstama koje mogu završiti svoj životni ciklus i razviti dominantne populacije u srednjem toku rijeka 3-6 reda (Reynolds i Descy, 1996). Neke rijeke sadrže „mrtve zone“ sa stagnantnom vodom (6-40% volumena tekućice) kao pogodna staništa u kojima se razvija plankton, jednako sastava kao i plankton glavnog toka, ali u većoj koncentraciji (Reynolds,

2006). Osim iz same rijeke, potamoplankton može poticati i iz okolnih voda; ustajalih, slabotekućih zona nastalih plavljenjem nizinskih rijeka, susjednih močvara oko tekućice (heleoplankton), iz jezera uzduž rijeke (limnoplankton) ili iz lagano tekućih pritoka i kanala koji ulaze u rijeku (Matonićkin i Pavletić, 1972). Reynolds i Descy (1996) navode da su većina riječnih alga planktonske vrste sa bentičkim životnim stadijem ili meroplanktonske vrste, a naročito dijatomeje roda Centrales (*Stephanodiscus* i *Aulacoseira*). U izvorima i manjim rijekama u kojima dostatna količina svjetlosti dopire do dna, zbog turbulentnosti vode, mnoge vrste potamoplanktona potiču od zajednica inače vezanih za riječno dno. Doprinos fitobentosa potamoplanktonu (tihoplanktonu) veći je u plićim, sporije protočnim, nego u dubokim i turbidnim rijekama. Stoyneva (1994) navodi da makrofiti imaju ulogu skloništa i supstrata za mnoge potamoplanktonske zelene alge koje tako alterniraju između perifitskog i planktonskog načina života. Dakle, ispiranjem bentičkih epifitskih i epilitskih alga obogaćuje se riječni plankton.

Najbolje razvijene taksonomske skupine fitoplanktona u velikim rijekama su Bacillariophyceae i Chlorophyta. Nešto slabije razvijene su Cryptophyta i Cyanobacteria, dok su Dynophyta, Chrysophyta i Euglenophyta slabo zastupljene, unatoč „cvjetanju“ pojedinih taksa u odgovarajućim uvjetima (Wehr i Descy, 1998). Ovisno o promjenama abiotičkih i biotičkih uvjeta dolazi i do promjene raznolikosti te brojnosti fitoplanktona tijekom godine što se naziva sezonskim sukcesijama, poznatije kao PEG-model (eng. *Plankton Ecology Group Model*) (Sommer i sur., 1986). Međusobni odnosi između populacija ili biotički čimbenici (kompeticija, „grazing“) više će utjecati na strukturu potamoplanktona kada dođe do masivnijeg razvoja planktona zbog niskog protoka vode. Zbog pretpostavki o manjoj biomasi zooplanktona u lotičkim sustavima, nego u jezerima, smatra se da je hranidbeni pritisak zooplanktona (eng. *grazing pressure*) u rijekama slab što potiče razvoj potamoplanktona. Rast fitoplanktona ovisan je i o kemijskim čimbenicima, koncentraciji hranjivih tvari, a naročito količini fosfora i silicija. No, kako su rijeke visoko produktivni sustavi, obično je dostatna količina nutrijenata dostupna algama, stoga resursi ne predstavljaju ograničavajući čimbenik. Sve veći broj istraživanja pokazuje da je promjena biomase duž riječnoga toka primarno rezultat interakcije morfologije i hidrologije rijeke, fizikalnih uvjeta (temperature i svjetlosti) te stope rasta alga (Wehr i Descy, 1998). Tako su Stanković i sur. (2012) u istraživanju naših velikih rijeka Drave, Dunava, Save i Mure dokazali da je vrijeme zadržavanja vode povezano s protokom najznačajnija varijabla koja utječe na masu fitoplanktona.

Promjene u sastavu fitoplanktona rijeka mogu nastati iznenadnim disturbancijama što je obrazloženo hipotezom umjerenog uznemiravanja (eng. *Intermediate Disturbance Hypothesis*) (Padisák i sur., 1993). Poplave su najčešće disturbancije koje pogađaju nizinske riječne ekosustave (Descy, 1993). Promjene na koje utječe veliki protok vode, kao što su vrijeme zadržavanja vode, količina suspendirane tvari i koncentracija nutrijenata, najvažniji su čimbenici koji u poplavnom razdoblju mijenjaju strukturu i biomasu potamoplanktona; povećavaju njegovu raznolikost, a smanjuju masu. Za vrijeme maloga protoka vode tijekom ljeta, fitoplankton velikih rijeka sličan je fitoplanktonu plitkih jezera (Reynolds i sur., 1994), smanjene je bioraznolikosti, ali velike biomase (Stanković i sur., 2012).

Do nedavno su algolozi za procjenu promjena fitoplanktona koristili tradicionalnu taksonomsku klasifikaciju koja svrstava alge u hijerarhijske skupine (rodove, porodice, redove) na osnovi njihovih zajedničkih morfoloških karakteristika, ali koja ne pruža informacije o njihovim specifičnim ekološkim zahtjevima. S obzirom na veliku osjetljivost i brzu reakciju fitoplanktonskih vrsta na promjene biotičkih i abiotičkih čimbenika u okolišu, vrste je moguće svrstati u skupine kojima odgovaraju slični ekološki uvjeti na temelju njihovih morfoloških i fizioloških karakteristika. Pokušaji razumijevanja dinamike fitoplanktona u različitim vodenim sustavima rezultirali su sa tri tipa morfo-funkcionalne klasifikacije (Salmaso i sur., 2012) kao što su model morfo-funkcionalnih grupa (eng. *morpho-functional group*) (Salmaso i Padisák, 2007) i grupa temeljenih na morfologiji (eng. *morphology-based functional group*) (Kruk i Segura, 2012). Prije gotovo pola stoljeća, nastala je ideja o ekološkim kategorijama fitoplanktona koje bi se koristile u opisu zajednica lentičkih ekosustava (Hutchinson, 1967). Tako su Reynolds i sur. (2002) razvili model funkcionalnih grupa (eng. *functional group-FG*) kako bi objasnili osjetljivost fitoplanktona na disturbancije, stresne uvjete i ograničene resurse u odnosu na turbulentnost staništa. Fitoplanktonske vrste, koje pripadaju različitim taksonomskim skupinama, svrstali su u funkcionalne grupe prema fiziološkim, morfološkim i ekološkim značajkama te njihovoj osjetljivosti ili toleranciji. Skupine se razlikuju prema tipu staništa (lentički sustavi različite dubine, veličine, stupnja trofije i režima miješanja vodenog stupca ili lotički sustavi), prema toleranciji (npr. na količinu nutrijenata, intenzitet svjetlosti, stratifikaciju, turbiditet) i/ili osjetljivosti (npr. na ispiranje, promjenu pH, nedostatak nutrijenata i plinova (CO<sub>2</sub>), hranidbeni pristisak ili „grazing“, miješanje slojeva vode) te specifičnim potrebama određenih vrsta (npr. veliki afinitet za fosfor, silicij).

U originalnoj se studiji model prvobitno sastojao od 14 grupa (Reynolds, 1980), da bi ga do danas Reynolds i sur. (2002) te Padisák i sur. (2009) unaprijedili i proširili na 41 funkcionalnu skupinu. Padisák i sur. (2009) svojim su istraživanjima odredili dodatne skupine koje su omogućile klasifikaciju ekološkog stanja rijeka (Borics i sur., 2007), funkcionalnih skupina karakterističnih za jako zagađene vode te skupina jedinstvenih samo za tekućice, ali se mogu pronaći i u onečišćenim vodama. Klasifikacija prema funkcionalnim skupinama primijenjena je diljem svijeta na različitim ekološkim sustavima od umjerenih do tropskih područja, a osobito na plitkim jezerima (Devercelli, 2006). Također, koncept funkcionalnih skupina uspješno je primijenjen za klasifikaciju potamoplanktona u procjeni ekološkog stanja lotičkih sustava (Abonyi i sur., 2012; Stanković i sur., 2012).

Teorija funkcionalnih skupina počiva na dvije glavne ideje (Padisák i sur., 2009):

1. Funkcionalno dobro prilagođene vrste uspješnije će podnijeti ograničavajuće uvjete nedostatka određenog čimbenika od slabije prilagođenih vrsta.
2. Vjerojatnije je da će stanište ograničeno svjetlosti, koncentracijom nutrijenata (P, C ili N) ili bilo kojim drugim čimbenikom, biti nastanjeno vrstama sa odgovarajućim prilagodbama koje im omogućavaju opstanak u navedenim uvjetima.

U sljedećem prikazu nalazi se pregled odabranih funkcionalnih skupina koje su bile zastupljene sa biomasom većom od 10% u istraživanju Stankovića i sur. (2012) u četiri najveće i najvažnije hrvatske rijeke Dravi, Dunavu, Muri i Savi. Skupine su opisane karakterističnim vrstama, staništem koje nastanjuju te njihovom osjetljivosti ili tolerantnosti na promjene pojedinih čimbenika okoliša prema Reynolds i sur. (2002) i Padisák i sur. (2009).

### **Skupina C**

Vrste koje nastanjuju mala i srednje velika, eutrofna jezera u kojima se odvija miješanje vodenog stupca, tolerantne na malu količinu svjetlosti i nedostatak ugljika, osjetljive na temperaturnu stratifikaciju jezera i nedostatak silicija.

Predstavnici: *Aulacoseira ambigua*, *Aulacoseira ambigua* var. *ambigua* f. *spiralis*, *A. distans*, *Stephanodiscus rotula*, *Cyclotella meneghiniana*, *C. ocellata*, *Asterionella formosa*.

## Skupina D

Vrste koje nastanjuju plitke, turbidne vode bogate nutrijentima, uključujući rijeke. Brzorastuće vrste malih dimenzija tolerantne na disturbancije nastale plavljenjem, uglavnom osjetljive na nedostatak hranjivih tvari (osim *Synedra spp.* s malom saturacijom P).

Predstavnici: *Synedra/Ulnaria acus*, *S.ulna*, *S. delicatissima*, *Nitzschi acicularis*, *N. Agnita*, *Fragilaria/Synedra rumpens*, *Encyonema sillessiacum*, *Stephanodiscus hantzschii*, *Skeletonema potamos*, *S.subsalsum*, *Actinocyclus normannii*

## Skupina J

Vrste koje nalazimo u plitkim ekosustavima bogatim hranjivim tvarima s dobro izmješanim vodenim stupcem, uključujući mnoge rijeke malog gradijenta, osjetljive su na malu količinu svjetlosti.

Predstavnici: *Pediastrum spp.*, *Coleastrum spp.*, *Scenedesmus spp.*, *Actinastrum spp.*, *Golenkinia spp.*, *Goniochlorys mutica*, *Crucigenia spp.*, *Tetraedron spp.*, *Tetrastrum spp.*

## Skupina P

Vrste prisutne u stalno ili povremeno izmješanim slojevima vode na 2-3 m dubine; u plitkim jezerima navedene ili ponekad veće dubine, kao i u epilimnionu stratificiranih jezera koja zadovoljavaju kriterij miješanja vode te visoki stupanj trofije. Vrste su tolerantne na smanjenu količinu svjetlosti i nedostatak ugljika, a osjetljive na nedostatak silicija i stratifikaciju.

Predstavnici: *Fragilaria crotonensis*, *Aulacoseira granulata*, *Aulacoseira granulata* var. *angustissima*, *Aulacoseira granulata* f. *curvata*, *Melosira lineata*, *Staurastrum chaetoceras*, *S. gracile*, *Closterium aciculare*, *Closteriopsis acicularis*, *Spirotaenia condensata* itd.

## Skupina T

Vrste prisutne u vodama sa stalno izmješanim slojevima u kojima je svjetlost ograničavajući čimbenik; u dubokim, izmješanim jezerima, uključujući čisti epilimnion dubokih jezera tijekom ljeta. Vrste su tolerantne na nedostatak svjetlosti, a osjetljive na manjak nutrijenata.

Predstavnici: *Geminella spp.*, planktonska *Mougeotia spp.*, *Tribonema spp.*, *Planctonema lauterbornii*, *Mesotaenium chlamydosporum*, *Mesotaenium sp.*

### **Skupina T<sub>B</sub>**

Vrste koje naseljavaju izrazito lotičke sustave (potoke, rječice).

Predstavnici: epilitske dijatomeje *Didymosphaenia geminata*, *Gomphonema* spp., *Fragilaria* spp., *Achnanthes* spp., *Surirella* spp. te poneke vrste koje pripadaju rodovima *Nitzschia* i *Navicula*, redu Pennales, *Gomphonema parvulum*, *Melosira varians*.

### **Skupina T<sub>c</sub>**

Vrste koje nalazimo u eutrofnim stajaćim vodama ili sporo protočnim rijekama sa emergentnom makrofitskom vegetacijom.

Predstavnici: epifitske cijanobakterije *Oscillatoria* spp., *Phormidium* spp., *Lyngbya* spp., *Rivularia* spp., *Leptolyngbya* cf. *notata*, *Gloeocapsa punctata*.

### **Skupina T<sub>D</sub>**

Vrste koje nastanjuju mezotrofne vode stajaćica ili sporotekuće rijeke sa emergentnim makrofitama, a potencijalno i staništa sa submerznim makrofitama.

Predstavnici: epifitske i metafitske vrste roda *Desmidiaceae*, filamentozne zelene alge i dijatomeje koje nastanjuju sediment

### **Skupina W1**

Vrste koje su prisutne u ribnjacima bogatima organskom tvari koja je dopremljena uslijed poljoprivredne proizvodnje, uzgoja ili putem otpadnih voda. Vrste su osjetljive na hranidbeni pritisak zooplanktona („grazing“).

Predstavnici: vrste Euglenophyta (*Euglena* spp., *Phacus* spp., *Lepocinclis* spp.), osim „bottom-dwelling“ vrsta, *Gonium* spp., *Vacuolaria tropicalis*

### **Skupina X2**

Vrste koje nastanjuju plitke, čiste i izmješane slojeve vode mezotrofnih do eutrofnih staništa. Vrste su tolerantne na stratifikaciju, ali su osjetljive na prisutnost procjeđivača.

Predstavnici: *Plagioselmis/Rhodomonas*, *Chrysocromulina* sp., *Carteria complanata*, *Chlamydomonas depressa*, *Pedimonas* sp., *Pteromonas variabilis*, *Pyramimonas tetrahynchus*, *Spermatozoopsis exultans*, *Ochromonas* sp., *Chroomonas* sp. itd.

### 1.3. Eutrofikacija velikih rijeka

Na temelju Okvirne direktive o vodama Europske unije (eng. *Water Framework Directive; Directive 2000/60/EC*), procjena ekološkog stanja vodenih ekosustava uključena je u mnoge međunarodne i nacionalne zakone. Kako je struktura i raspodjela fitoplanktonskih zajednica dobar pokazatelj ekološkog stanja biotopa, fitoplankton je uvršten među pet bioloških elemenata za ocjenu ekološkog stanja rijeka. Također, Uredba o klasifikaciji voda (NN 77/98) Vlade RH zahtijeva određivanje stupnja trofije kao jednog od obveznih bioloških pokazatelja kvalitete vode uz fizikalno-kemijske i mikrobiološke parametre. Biomasa fitoplanktona koristila se desetljećima za procjenu stupnja trofije i utvrđivanja umjetno ili antropogeno uzrokovane eutrofikacije koja je sve češća u većini velikih europskih rijeka (Wetzel, 2001).

Eutrofikacija je proces intenzivnog povećavanja primarne produkcije, odnosno pretjeran rast i razmnožavanje fitoplanktona, bentičkih i filamentoznih alga te makrofita, zbog visoke koncentracije anorganskih nutrijenata, prvenstveno fosfora, ali i dušika u vodenim ekosustavima (Mainstone i Parr, 2002). Porast koncentracije nutrijenata je preduvjet eutrofikacije, ali još nije utvrđeno koji je od glavnih nutrijenata limitirajući u rijekama. Poznato je da N, P ili oboje mogu ograničiti rast fitoplanktonskih i bentičkih alga, da je biomasa makrofita u snažnoj korelaciji sa koncentracijom P u sedimentu, a da P ili N mogu utjecati na rast perifitona (Newman i sur., 2005). Vjerojatno je da nutrijentima reguliran rast ovisi i o vrsti biljnog organizama i o trofičkom stanju rijeke. Proces eutrofikacije ovisan je i o vremenu zadržavanja vode (stopi ispiranja) ili vremenu putovanja u rijekama. Stopa ispiranja veća (vrijeme zadržavanja manje) od stope rasta, onemogućit će se nastanak velike biomase alga koja bi uzrokovala efekte eutrofikacije bez obzira na dostatnu koncentraciju nutrijenata (Hilton i sur., 2006). Stoga, pojava ovakvog procesa nije vjerojatna za gornje tokove i rijeke kratkoga toka, ali jeste za srednje i donje tokove velikih, dubokih ili zatvorenih rijeka, uključujući kanale. Visoka koncentracija nutrijena potaknut će dominaciju fitoplanktona u rijekama sa dužim vremenom zadržavanja vode, u suprotnom će prevladavati alge bentosa i perifitona. U rijekama sa kraćim vremenom zadržavanja vode rast makrofita biti će više ograničen svjetlošću, nego nutrijentima, uslijed prekomjernog rasta epifitskih alga (Newman i sur., 2005). Dodds (2006) navodi da isključivo autotrofni procesi ne mogu precizno definirati trofičko stanje lotičkih sustava. Zbog snažne povezanosti s kopnenim ekosustavima kao izvorom alohtonog organskog ugljika, heterotrofni procesi imaju veću ulogu od autohtone primarne produkcije, stoga se tekućice mogu definirati kao heterotrofni sustavi.

Osim pretjeranog rasta autotrofnih organizama, posljedice eutrofikacije su i: smanjena raznolikost makrofita (prevladavanje brzorastućih, kompetitivnih vrsta), dominacija bentičkih, filamentoznih ili planktonskih alga, velike promjene u pH vode, „cvjetanje“ modrozelenih alga i smanjena kvaliteta vode. Također, povećana primarna produkcija i bakteriološka aktivnost mogu uzrokovati hipoksiju u pojedinim dijelovima rijeke tijekom perioda sa malim protokom vode (Hilton i sur., 2006). Indirektni efekti eutrofikacije rijeka rezultat su prevelike biomase alga ili promjena u sastavu zajednica, uključujući proliferaciju neželjenih ili toksičnih vrsta. Iako spor rast cijanobakterija onemogućava „cvjetanje vode“ u velikim rijekama umjerenog područja, ovaj se fenomen može pojaviti u rijekama povezanim sa eutrofnim jezerima ili sa velikim vremenom zadržavanja vode, uglavnom tijekom ljeta (Wehr i Descy, 1998).

Svi modeli upravljanja eutrofnim ili hipertrofnim rijekama teže uspostavljanju ponovne dominacije makrofitske vegetacije (Hilton i sur., 2006). Efikasniji način smanjenja stupnja trofije je redukcija „inputa“ u lotičkim sustavima u usporedbi sa bilo kojom *in situ* mjerom revitalizacije. Kako bi se promijenio sastav i struktura makrofita potrebno je smanjiti koncentraciju nutrijenata, prvenstveno fosfora, u različitim izvorima zagađenja. Točkaste izvore zagađenja lakše je identificirati i sanirati, nego netočkaste ili difuzne izvore nastale oticanjem sa poljoprivrednih, industrijskih ili urbanih područja (Newman i sur., 2005). Lampert i Sommer (1997) navode da je u velikim rijekama kao što je npr. Dunav, uz kontrolu hidrologije rijeke (npr. uvjeti prirodnog toka), nužno smanjenje koncentracije P za 90%. Osim uklanjanja izvora zagađenja, revitalizacija rijeka podrazumijeva i smanjenje otpuštanja fosfata iz sedimenta i presađivanje makrofita uklonjenih riječnim strujama zbog plitkog zakorijenjivanja (Hilton i sur., 2006).



#### **1.4. Pregled dosadašnjih istraživanja rijeke Drave**

Znanstvenici posvećuju više pažnje manjim vodenim tijelima kao što su potoci i jezera, dok su velike rijeke slabije istražene zbog svoje velike površine i potrebe za specijaliziranom opremom pri istraživanju. U usporedbi sa drugom najvećom rijekom u Europi, Dunavom, rijeka je Drava bila manje istraživana u prošlosti. U svome magistarskom radu Popović (1985) navodi kako je Gavazzi (1908) ispitao protok i količinu vode rijeke Drave u sklopu istraživanja tekućica Hrvatske već na početku 20. stoljeća. Također, napominje kako su se sredinom prošloga stoljeća hidrološkom problematikom nekadašnje Jugoslavije bavili Jevđević (1956) te Dugački (1958) koji iznosi detaljne podatke o rijeci Dravi u Enciklopediji Jugoslavije, a Riđanović (1975) u Geografiji SR Hrvatske. U okviru desetak bibliografskih radova s područja današnjeg Kopačkog rita izdanih od strane Mađarskog narodnog muzeja, Woynarovich (1944) je proučio hidrobiološke (zooplankton) i hidrokemijske značajke poplavnoga područja Drave i Dunava u kolovozu 1943. godine. Na temelju navedenog istraživanja utvrđeno je da Drava pripada kalcij-hidrokarbonatnom tipu voda. Nadalje, Popović (1985) napominje da se kvaliteta dravske vode počela pratiti od 1963. godine. Telišman i sur. (1973,1974) načinili su statističku analizu nekih pokazatelja onečišćenja Drave, Mure i Save, a Meštrović i sur. (1976, 1979) te Mikuska (1978) radili su istraživanja fizikalno-kemijskih i saprobioloških karakteristika Drave duži niz godina. Od 1970. kontinuirano se ispituje kvaliteta dravske vode u sklopu nacionalnog monitoringa rijeka Hrvatske. Dravu su istraživali Šoštarić i Stilić (1975) proučavajući procese samoočišćenja, a Munjko i sur. (1976) utjecaj kemijskih gnojiva na površinske i podzemne vode Drave pokraj Osijeka.

Poznato je da su velike i protočne rijeke Panonske nizine, kao što je i predmetna rijeka Drava, pogodno stanište za razvoj potamoplankton (Borics i sur., 2007). Tako je Gucunski (1980) istraživanjem utjecaj otpadnih voda „Kombinata Bleišće“ 1977. godine utvrdila značajno smanjenje broja fitoplanktonskih vrsta zbog ulijevanja otpadnih voda u rijeku Dravu pokraj Belišća. Tijekom istraživanog razdoblja pronađeno je ukupno 134 vrsta alga od kojih je dominantna skupina bila Chrysophyta sa 65 vrsta, odnosno pripadajući odjeljak Bacillariophyceae sa 59 vrsta te Chlorophyta predstavljena sa 50 vrsta. Gucunski (1981) je također utvrdila znatan deficit u kvalitativnom i kvantitativnom sastavu fitoplanktona prilikom analiziranja utjecaj gradskih otpadnih voda na potamoplankton Drave tijekom kolovoza i studenog 1980. godine. U kolovozu 1980. godine uočen je pad broja

fitoplanktonskih vrsta za 54% nizvodno od utoka otpadnih voda iz glavnog kolektora gradske kanalizacije u odnosu na uzvodni profil.

Istraživanjem planktona odsjeka Drave dužine 13,6 km u razdoblju od lipnja 1982. do svibnja 1983. godine (Popović, 1985) dobivena je jasnija i kompleksnija slika sezonskih i prostornih promjena sastava fitoplanktona rijeke Drave s osobitim naglaskom na posljedice utjecaja otpadnih voda grada Osijeka. Na 13 postaja, smještenih na uzvodnom i nizvodnom profilu, na lijevoj i desnoj obali te matici rijeke, utvrđeno je ukupno 205 taksona. Brojem su vrsta dominirale alge iz odjeljaka Chlorophyta i Chrysophyta među kojima su prevladavale alge kremenjašice. Uočene su i pravilne sezonske promjene u nastupanju pojedinih sistematskih skupina; odjeljak Chlorophyta (42-55%) prevladavao je tijekom ljeta, a odjeljak Chrysophyta (61-70%) u zimi. Prema kvalitativnom saprobiološkom sastavu fitoplanktona, dravska je voda pripadala beta-mezosaprobnom stupnju, tj. II. klasi boniteta. Na temelju rezultata potvrđeno je da je grad Osijek svojim otpadnim vodama negativno utjecao na populaciju alga; nizvodnim tokom rijeke u svim istraživanim mjesecima zabilježen je pad broja vrsta (za 24% u godišnjem prosjeku). Nešto veća kolebanja broja vrsta naročito su se odnosila na desnu dravsku obalu zbog prisutnosti izljeva gradskog kolektora.

Horvatić i Gucunski (1990) istraživali su kvalitativan sastav fitoplanktona i pojedine ekološke čimbenike u ljeto i jesen 1989. godine na dva ekološki različita lokaliteta rijeke Drave; na području Zimske luke (20 r.km) sa slabim protokom vode te Pampasu (22.2 r.km) sa prirodnim brzim tokom vode. Sveukupno su utvrdile 109 fitoplanktonskih taksa; 94 takse pripadale su postaji Zimske luke, a 90 taksa Pampasu. Riječna voda uzorkovana na dva lokaliteta razlikovala se u fizikalnim i kemijskim svojstvima. Rezultati saprobiološke analize pokazali su da je Drava pripadala II. i II.-III. klasi boniteta što je ukazalo na potrebu o boljoj i adekvatnijoj zaštiti navedenog riječnog ekosustava. Objedinjavanjem literarnih podataka objavljenih do 1995. godine, Plenković-Moraj (1995) izradila je praktičan popis vrsta iz skupine Bacillariophyceae koje su karakteristične za slatkovodne sustave Hrvatske. Navedeni rad pruža podatke i o stupanju saprobnosti te kvalitativnom sastavu dijatomeja rijeke Drave. U dravskoj je vodi utvrđena prisutnost 148 različitih vrsta alga kremenjašica do navedenog razdoblja. Jedno od prvih istraživanja objavljeno nakon rata (Horvatić i sur., 1997) nije pokazalo pozitivne promjene, suprotno kvaliteta riječne vode Drave bila je u stalnome padu. Tako je zabilježeno smanjenje fitoplanktonskih vrsta nizvodno od područja Donjeg Miholjca (77 r.km) uzrokovano komunalnim i industrijskim otpadnim vodama grada Osijeka.

Recentnije podatke o planktonskim zajednicama predmetne tekućice može se pronaći u istraživanju Plenković-Moraj i sur. (2007) koji su u periodu od 1999. do 2005. analizirali fitoplankton u tri akumulacije rijeke Drave na šest različitih postaja. Uz uobičajene analize i indeks saprobnosti, izračunali su trofički indeks dijatomeja (eng. *Trophic Diatom Index*, TDI) koji opisuje utjecaj nutrijenata (uglavnom fosfora) na zajednice te generički indeks dijatomeja (eng. *Generic Diatom Index*, GDI). Također, s ciljem opisivanja fitoplanktonskih zajednica i promjena u kvaliteti vode određeni su i Shannon-Wiener indeks raznolikosti vrsta i Pielou-ov indeks ujednačenosti zajednica. Svi indeksi ukazivali su na eutrofikaciju i zagađenje vode. U sedam godina istraživanja, kvaliteta riječne vode mijenjala se od oligotrofne (I. kategorija) do gotovo mezotrofne (II. kategorija), karakterizirane oligo- do beta- i alfa-mezosaprobnim vrstama. Najzastupljenija taksonomska skupina bila je Bacillariophyceae tijekom čitavog istraživnog razdoblja; s primarnom dominacijom vrste *Asterionella formosa* Hass./*Fragilaria crotonensis* Kitt. postupno zamijenjenom sa vrstom *Melosira varians* AG. Mrakovčić i sur. (2009) su u vodama akumulacija (1999-2008) utvrdili ukupno 179 vrsta od čega su 92 vrste pripadale najbrojnijim dijatomejama, sukladno predhodnom istraživanju. Ostale značajnije skupine bile su Chlorophyta (42 vrsta) te Cyanobacteria (20 vrsta).

Stanković i sur. (2012) istraživali su utjecaj hidroloških karakteristika i koncentracije nutrijenata na fitoplankton četiri velikih panonskih rijeka, uključujući rijeku Dravu. Kako bi dobili bolji uvid u čimbenike koji utječu na potamoplankton, mjerili su biomasu i sastav ovisno o fizikalno-kemijskim čimbenicima te su izradili samoorganizirajuće mape upotrebom funkcionalnih i morfo-funkcionalnih grupa. Dominantna skupina bila je Bacillariophyceae, a ukupnoj biomasi rijeke Drave značajno je pridonosila i skupina Chlorophyceae (1-89,4%), najviše tijekom kolovoza i rujna. U ovoj je tekućici pronađen i najveći broj deskriptivnih vrsta (27) koje su doprinosile ukupnoj biomasi (> od 5%) kao što su: *Stephanodiscus hantzschii*, *Stephanodiscus* cf. *minutulus*, *Navicula lanceolata* itd. Tijekom istraživnog razdoblja dominantne funkcionalne skupine (FG) dijatomeja bile su C, D i TB, grupa VI bila je dominantna, a grupa V subdominantna morfo-funkcionalna skupina (MFG). Zelene alge reda Chlorococcales, predstavljene FG T i MFG IV, počele su prevladavati u ljetnim mjesecima s porastom vremena zadržavanja vode.

Na temelju pregleda dosadašnjih istraživanja potamoplanktona rijeke Drave može se zaključiti da se proučavanje fitoplanktona do 90-tih godina prošloga stoljeća odnosilo uglavnom na kvalitativnu i kvantitativnu analizu, definiranje sezonskih i prostornih promjena

te promjena u kvalitativnom saprobiološkom sastavu fitoplanktona. Recentnija istraživanja, s kraja prošlog stoljeća do danas, temeljena su na: kvantitativnom istraživanju riječnoga fitoplanktona s ciljem utvrđivanja biomase, određivanja stupnja trofije i različitih indeksa koji opisuju zajednice alga i promjene u kvaliteti vode; definiranju sezonskih sukcesija, organiziranju potamoplanktona u funkcionalne i morfo-funkcionalne skupine na temelju različitih morfoloških i fizioloških strategija preživljavanja u raznolikim staništima itd.

### **1.5. Cilj istraživanja**

Kako se tradicionalna taksonomska klasifikacija pokazala nedovoljno osjetljivom, primarni je cilj ovog istraživanja, uz analizu kvalitativnog i kvantitativnog sastava te fizikalno-kemijskih svojstava vode, utvrditi dominantne funkcionalne skupine potamoplanktona rijeke Drave na dionici pokraj grada Osijeka tijekom ranoproljetnog razdoblja; u ožujku i travnju 2016. godine.

## 2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

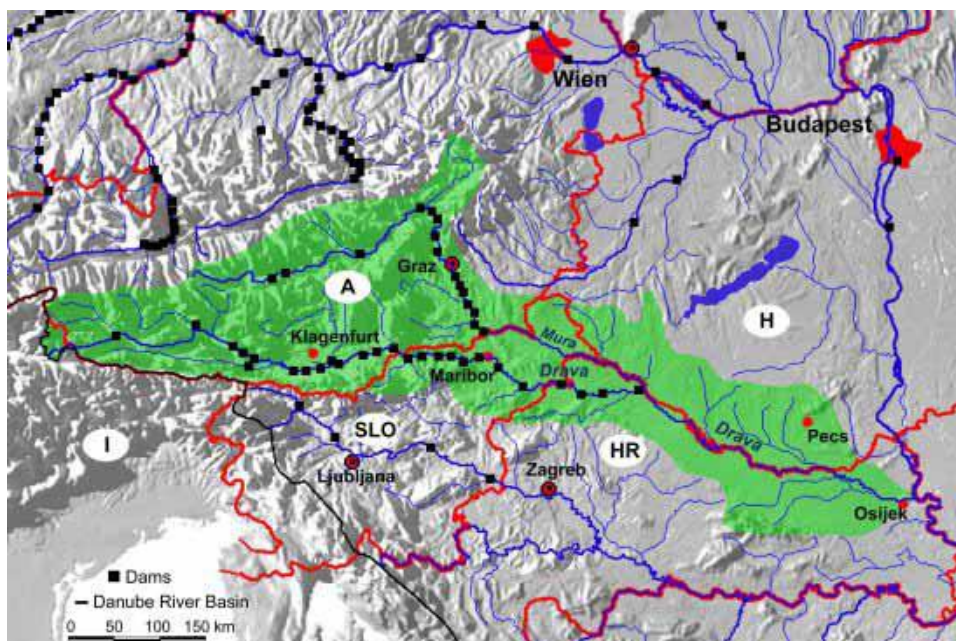
Rijeka Drava jedna je od najvećih srednjoeuropskih rijeka slivne površine od 42.238 km<sup>2</sup> s izvorištem na austrijsko-talijanskoj granici. Četvrta je najveća i najduža pritoka Dunava, pripada Dunavskom riječnome bazenu te tako povezuje Alpe i Crnomorski sliv (Slika 3).



Slika 3. Porječje Dunava zajedno sa desnom pritokom, rijekom Dravom (Izvor slike: web 3)

Rijeka Drava izvire u južnom Tirolu, u Toblaškom polju kod jezera Dobbiaco u sjevernoj Italiji na nadmorskoj visini od 1175 m. Dalje nastavlja teći prema istoku, drenirajući Karenijske i Ziljske Alpe te Karavanke, a vodu dobiva topljenjem visokih snježnih retenzija Alpskoga gorja. Nakon talijanskih Alpa, rijeka prelazi preko austrijske pokrajine Kärnten (Koruška), Slovenije te ulazi u Hrvatsku kod naselja Dubrava Križovljanska. Zatim tok rijeke preko Varaždinske doline teče prema jugu, preko Međimurja, gdje se Mura ulijeva u Dravu. Poslije ušća rijeke Mure, Drava skreće prema jugoistoku na 236,4 km te tada djelomično tvori prirodnu granicu između Mađarske i Hrvatske na području od Legrada do Terezinog polja. Rijeka Drava granična je rijeka u dužini od 136 km, sve do ispod Donjeg Miholjca gdje granica skreće prema sjeveru, a rijeka teče duboko u teritorij Hrvatske. Ne mijenjajući značajno svoj smjer Drava prolazi pored Osijeka na 21 km sa riječnim koritom širine 320 m. Konačno, ulijeva se u Dunav na 2,5 km sjeverozapadno od Aljmaša, na granici Hrvatske sa Vojvodinom (Srbijom) kao njezina desna pritoka. Ujedino, svojim donjim tokom ova tekućica

dijeli istočni dio Hrvatske na Slavoniju i Baranju na 131 r.km, kod mjesta Budakovac, u dužini od Terezinog polja do Aljmaša (Slika 4). Za Republiku Hrvatsku karakteristične su dvije velike ekološke regije: panonska i mediteranska. Za razliku od krških rijeka mediteranske ekoregije koje su kratke, brzotekuće i čiste, rijeke panonske ekoregije, u koje ubrajamo i istraživanu rijeku Dravu zajedno sa Dunavom, Savom i Murom, su velike, sporo protočne nizinske rijeke (Stanković i sur., 2012).



Slika 4. Geografski prikaz toka Drave od izvora u Italiji do ušća u Dunav (FLUVIUS, 2007)

Ukupna dužina rijeke Drave iznosi oko 725 km; od čega 15 km pripada Italiji, 261 km Austriji, a Sloveniji 144 km od kojih 20 km čini hrvatsko-slovensku granicu. Ukupna površina sliva Drave je  $41\,238\text{ km}^2$ . U Republici Hrvatskoj Drava teče u duljini od 305 km (95 km u graničnom području s Mađarskom) što čini 43% ukupne dužine toka i ima slivno područje od  $7\,015\text{ km}^2$  (web 4; DZZP, 2009). Drava u Hrvatsku ulazi kod naselja Dubrava Križovljanska s nadmorskom visinom od 197 m, a ušće u Dunav kod Aljmaša nalazi se na nadmorskoj visini od 82 m. Dakle, ukupna visinska razlika hrvatskog toka rijeke Drave, od ulaska do ušća, iznosi 105 m.

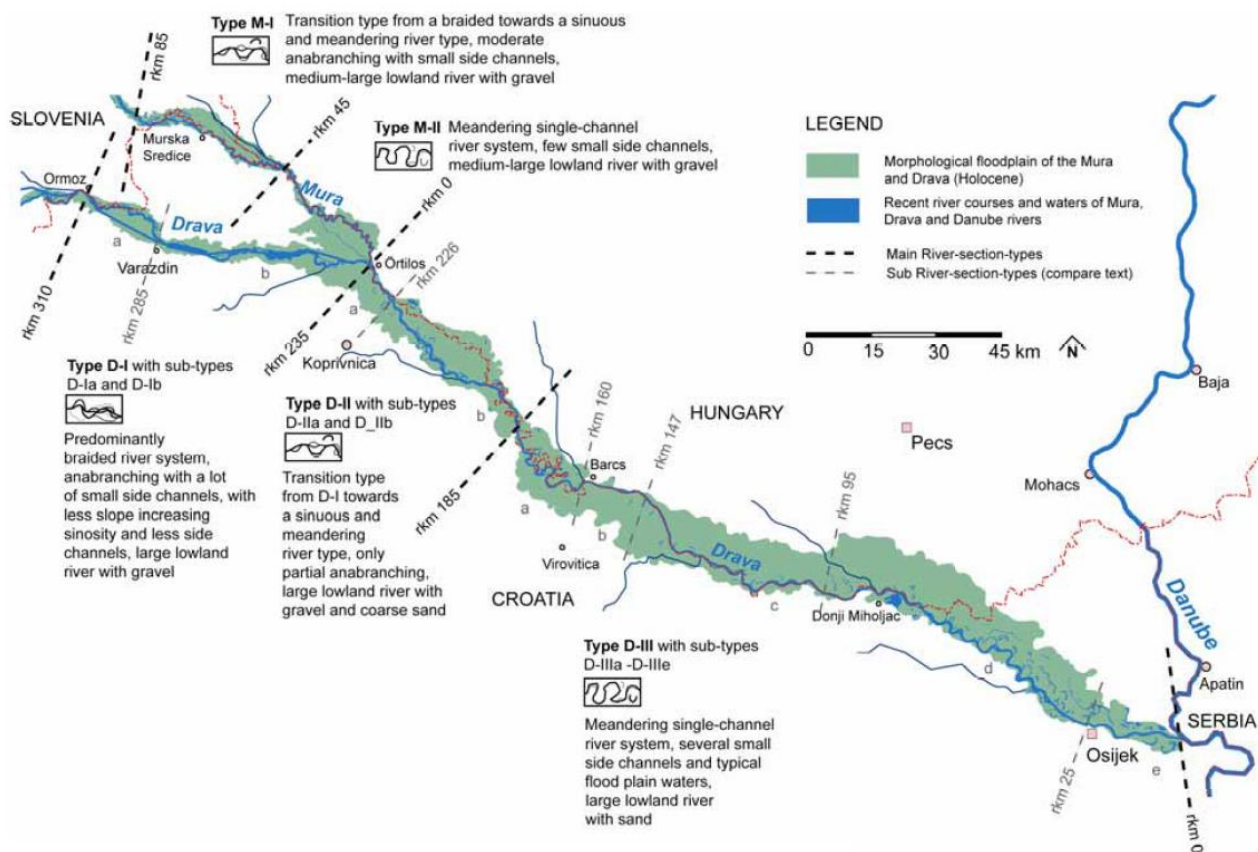
Na ulazu u Hrvatsku srednji protok Drave je  $315\text{ m}^3/\text{s}$ , kod Botova nakon ušća pritoke rijeke Mure  $530\text{ m}^3/\text{s}$ , a kod ušća u Dunav  $580\text{ m}^3/\text{s}$  (Grlica, 2008). Ovo je brza tekućica, promjenjivog toka s prosječnom dubinom između 4 i 7 metara. U Dravu se ulijeva 24 većih vodenih tokova. Najvažnije desne pritoke gornjeg toka rijeke su: Gail u Austriji, Mislinja i

Dravinja u Sloveniji i Bednja u Hrvatskoj, a lijeve pritoke: Gurk u Austriji i najveća pritoka, rijeka Mura (493 km) u Hrvatskoj, pored Legrada. U donjem toku, proticanjem kroz nizinu Podravine, Drava poprima obilježja ravničarske rijeke primajući s desne strane pritoke: Komarnicu, Čađavicu, Voćinsku i Karašicu koje donose vodu s Bilogore i Papuka, a sa lijeve strane: Siv Arak i Fekete Viz koji odvođe vodu s Mecsek-a u Mađarskoj. Drava je jedina rijeka na području Hrvatske s nivalnim ili snježnim režimom te je zaleđena 15 do 35 dana godišnje (web 4). Odnosno, tipična je fluvio-glacijalna rijeka, što znači da ju karakterizira najveći protok vode tijekom svibnja i lipnja zbog topljenja snijega i leda u Alpama kada većina ostalih rijeka pokazuje znakove ljetne suše. Drugi visoki vodostaj nastupa tijekom mjeseca studenog kada rijeka buja uslijed jesenskih kiša u Alpskome zaobalju. Pritoci južnih dijelova riječnoga sljeva mogu uzrokovati kratkotrajan dotok vode zbog utjecaja mediteranske klime, u ljeto i to posebice tijekom kolovoza. Najniži protok je zimi, tijekom siječnja i veljače (Grlica, 2007; web 5).

Rijeka Drava, osobito segment od ušća Mure do Barča u Mađarskoj, jedan je od rijetkih preostalih doprirodnih tokova nizinskih rijeka u srednjoj Europi. Ekološki najznačajnije očuvane morfološke značajke koje karakteriziraju ovaj riječni biotop su: riječni meandri, šljunkoviti i pješčani sprudovi, otoci te strme, odronjene i još neutvrđene obale koje nastaju djelovanjem same rijeke. Donji se tok rijeke Drave može podijeliti na tri sekcije na temelju hidromorfoloških karakteristika što je detaljnije prikazano na Slici 5 i u Tablici 1 (FLUVIUS, 2007). Kako je Drava brza rijeka, tijekom vremena, pojačana bočna erozija obale, gdje je voda dublja, hrani se sedimentom koji se taloži s druge, pliće strane. Posljedica ovakvog djelovanja na riječno korito i kasnijih procesa je nastajanje velikih zavoja (meadara) te mrtvaja. Nažalost, ovakve prirodne morfološke forme više ne nastaju na Dravi. Svi predhodno navedeni tipovi staništa najugroženiji su u Europi zbog izgradnje hidroelektrana, iskopavanja sedimenta i kanaliziranja rijeke izgradnjom obaloutvrda što prekida bočne erozivne procese, uzrokuje eroziju riječnoga dna i opadanje razine podzemnih voda .

S obzirom na veliki energetska potencijal, na dravskom riječnom toku ukupno su izgrađene 22 hidroelektrane: 11 u Austriji te 8 u Sloveniji. Na svom toku kroz Hrvatsku Drava je tri puta pregrađena: HE Varaždin (1975), HE Čakovec (1982) i HE Dubrava (1989). Izgradnjom ovih hidroelektrana trajno je izgubljeno oko 60-tak r.km prirodnog srednjeg toka rijeke Drave koji su zaposjele akumulacije (Grlica, 2007 i 2008).





Slika 5. Shematski prikaz sekcije rijeke Drave na tri hidromorfološka tipa (FLUVIUS, 2007)

Tablica 1. Hidromorfološke karakteristike tri sekcije donjeg toka rijeke Drave

PARAMETRI	Riječna secija D-I (podtipovi D-Ia i D-Ib)	Riječna secija D-II (podtipovi D-IIa i D-IIb)	Riječna secija D-III (podtipovi D-IIIa-D-IIIe)
<b>Položaj sekcije</b>	310 rkm (Ormoz)- 235rkm (Mura, Legrad)	235 (Mura, Legrad)- 185 rkm (Babocska)	185 rkm (Babocsa)- 0 rkm (Dunav, Aljmaš)
<b>Širina kanala (m)</b>	100-850	150-1500	200-400
<b>Udaljenost od izvora (km)</b>	440-515	515-565	565-750
<b>Tip riječne sekcije</b>	-uglavnom prepleteni, vijugav riječni sustav s mnoga manjih postranih korita  -postepeno se povećava vijuganje riječnoga korita i samnjuje broj postranih manjih korita  - velika nizinska sekcija sa šljunčanom podlogom	-prijelazni tip od prepletene prema meandrirajućoj rijeci s malom razgranatošću korita  - veliki nizinski segment sa šljunkom i grubim pijeskom	-meandrirajući riječni sustav s postranom poplavnom ravnicom  - jedno vijugavo glavno korito te nekoliko manjih postranih rukavaca i mrtvica  -veliki nizinski segment sa pješčanom podlogom



Rijeka Drava pripada jednima od posljednjih doprirodnih tokova nizinski rijeka u srednjoj Europi, a karakterizira ju velika razina biološke raznolikosti. Posebice su značajna njezina vlažna staništa koja spadaju među najugroženija u Europi, a zaštićena su i u Republici Hrvatskoj temeljem Zakona o zaštiti prirode. Prirodne šume ovog područja odlikuju se bogatstvom flore i faune te spadaju u najraznovrsnije šume europskog kontinenta. Šire je područje rijeke vrednovano kao važnim za ptice EU (tzv. SPA područje) zbog velikog broja ugroženih i zaštićenih vrsta koje se nalaze u Dodatku I Direktive o pticama. Donji tok rijeke Drave najbogatije je područje ribama u Hrvatskoj.

Godine 2009. predložena je zaštita područja rijeka Mure i Drave u kategoriji regionalnog parka s ciljem očuvanja prirodnih tipova staništa ugroženih na državnoj i europskoj razini, svih svojti koje na njima obitavaju i očuvanja izuzetnih krajobraznih vrijednosti, georaznolikosti te kulturno-tradicijske baštine. Vlada je Republike Hrvatske dana 10. veljače 2011. donijela Uredbu o proglašenju čime je ovo područje postalo prvim regionalnim parkom u RH. Čitavo je područje uvršteno i u ekološku mrežu RH te će s najvećom vjerojatnošću postati i dio europske ekološke mreže NATURA 2000 i budućeg biosfernog rezervata Mura-Drava-Dunav.

### 3. MATERIJALI I METODE

#### 3.1. Razdoblje i postaja istraživanja

Područje istraživanja obuhvaćeno ovim radom je dionica rijeke Drave kraj Osijeka. Uzorci vode za hidrobiološke analize uzeti su na jednoj postaji istraživanja smještenoj na desnoj obali rijeke Drave, nizvodno od pješačkog Mosta mladosti, u blizini VK Iktus (Slika 6a i b). Uzorci su vode prikupljeni za vrijeme niskog vodostaja rijeke, početkom mjeseci ožujka i travnja 2016. godine tijekom dana, između 11 i 12 sati.



Slika 6a. Postaja uzorkovanja vode i fitoplanktona smještena na desnoj obali rijeke Drave pored Osijeka označena simbolom (●) (Izvor slike: web 6)

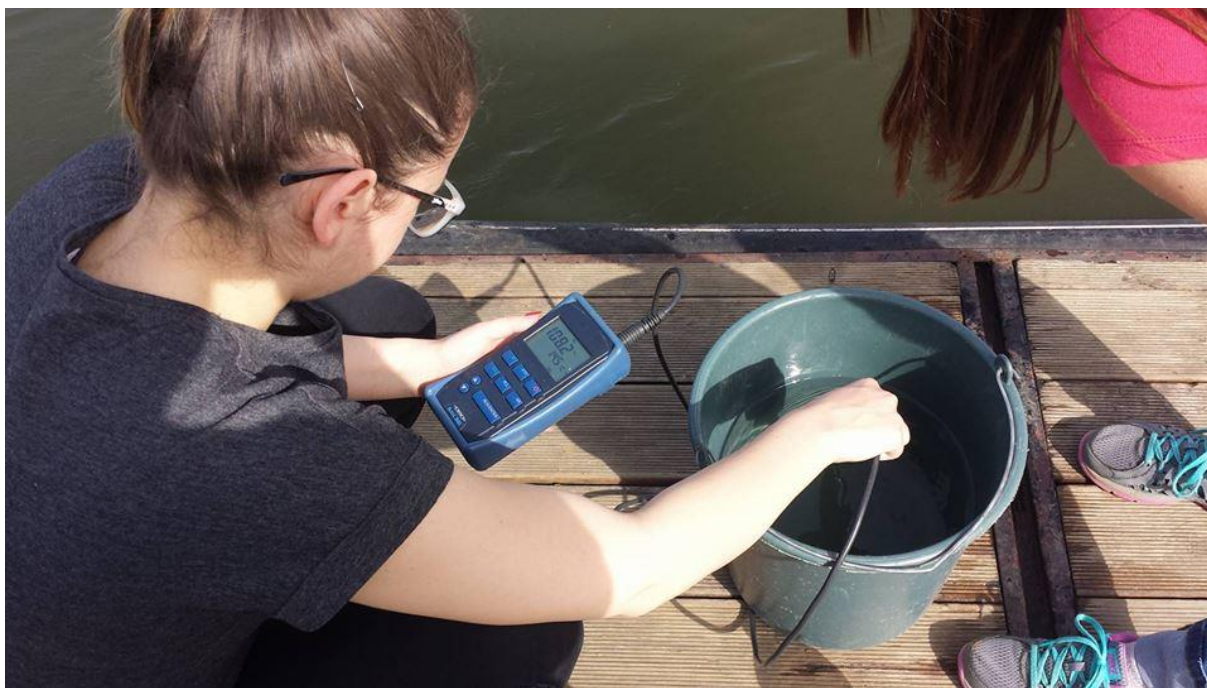


Slika 6b. Postaja uzorkovanja vode i fitoplanktona smještena na desnoj obali rijeke Drave pored Osijeka u travnju 2016. godine (Fotografija: K.Peharda)

### 3.2. Analiza fizikalno-kemijskih svojstava vode

Fizikalno-kemijske karakteristike riječnoga biotopa mjerene su izravno na mjestu uzorkovanja, *in situ*. Uzorkovanjem vode na terenu određeni su sljedeći fizikalni parametri: temperatura zraka i vode, električna provodljivost i koncentracija vodikovih iona (pH) vode te dubina i prozirnost vode. Od kemijskih parametara izmjereni su: koncentracija otopljenog kisika u vodi te zasićenje vode kisikom.

Temperatura zraka mjerena je 10 cm iznad površine vode živinim termometrom s podjelom ljestvice 10/1° C. Prozirnost vode određena pomoću Secchi ploče s crno-bijelim poljima, promjera 30 cm. Prijenosni minilaboratorij, uređaj WTW Multi 340i (Wissenschaftlich-Technische Werkstätten, Weilheim, Njemačka), korišten je kako bi se izmjerili sljedeći fizikalno-kemijski parametri vode: koncentracija otopljenog kisika, zasićenost vode kisikom, električna provodljivost vode, temperatura i pH vode (Slika 7). Navedena su svojstva mjerena uranjanjem elektroda u površinski sloj vode, na dubinu od oko 20 cm.



Slika 7. Mjerenje fizikalno-kemijskih svojstava vode korištenjem uređaj WTW Multi 340i (Fotografija: K.Peharda)

Usporedno s mjerenjem i uzorkovanjem vode za osnovne fizikalno-kemijske pokazatelje, uzeti su uzorci kako bi se odredio biološki element kakvoće fitoplanktona, koncentracija klorofila. Na terenu, jedna litra uzorka uzeta je također iz površinskog sloja vode te je kasnije, u laboratoriju, profiltrirana kroz filter-papir od staklenih vlakana oznake GF/C, promjera 55 mm s otvorom pora od 1,2  $\mu\text{m}$  (Whatman International Ltd, Maidstone, Engleska) pomoću vakum sisaljke. Suhi su se filteri s talogom presavili do pola, zaštitili alufolijom te označeni (vodno tijelo, postaja, datum i vrijeme uzorkovanja, volumen filtrirane vode) pohranili na određeno vrijeme u zamrzivaču na oko  $-20^{\circ}\text{C}$ . Prilikom određivanja, odmrznuti filteri homogenizirani su u tarioniku s tučkom upotrebom 90%-tnog acetona (15 mL), a sadržaj je prebačen u staklene kivete. Uzorci su zatim pohranjeni na ekstrakciju u mraku pri temperaturi od  $4^{\circ}\text{C}$ , tijekom 24 sata. Dobiveni su ekstrakti centrifugirani 10 min na 3000 rpm-a, a zatim je izmjerena apsorbancija pri valnim duljinama od 630, 645, 663 i 750 nm pomoću spektrofotometra DR/2010 (Hach Company, SAD). Koncentracije klorofila-a, klorofila-b i klorofila-c izračunate su prema metodama SCOR-UNESCO (1966) te Strickland i Parsons (1972) upotrebom sljedećih jednadžbi:

$$\text{Chl-a } (\mu\text{m/L}) = (11,64 \times A_{663} - 2,16 \times A_{645} + 0,10 \times A_{630}) \times v/V \times d$$

$$\text{Chl-b } (\mu\text{m/L}) = (20,97 \times A_{645} - 3,94 \times A_{663} - 3,66 \times A_{630}) \times v/V \times d$$

$$\text{Chl-c } (\mu\text{m/L}) = (54,22 \times A_{630} - 5,53 \times A_{663} - 14,81 \times A_{645}) \times v/V \times d$$

$v$  = volumen ekstrakta (mL)

$V$  = volumen filtriranog uzorka vode (L)

$d$  = duljina kivete (cm)

U navedenim jednadžbama  $A_{630}$ ,  $A_{645}$  i  $A_{663}$  označavaju vrijednosti apsorbancije pri valnim duljinama od 630, 645 i 663 nm od kojih je oduzeta vrijednost apsorbancije pri 750 nm ( $A_{750}$ ). Nakon mjerenja apsorbancije na navedenim valnim duljinama, rađena je korekcija za feopigmente. U svaki ekstrakt dodana je 0,1M otopina HCl (za svaki mL ekstrakta dodaje se 33  $\mu\text{L}$  HCl-a) te su mjerene apsorbancije na 663 i 750 nm. Koncentracija korigiranog klorofila-a izračunata je prema Lorenzen (1967):

$$\text{Chl-a (korigirani)} (\mu\text{g/L}) = 26.7 (A_{663} - A_{a663}) \times v/V \times d$$

$$\text{Feopigmenti} (\mu\text{g/L}) = 26.7 (1.7 \times A_{a663} - A_{663}) \times v/V \times d$$

gdje je:

$A_{663}$  - apsorbancija na 663 nm (od koje je oduzeta apsorbancija na 750 nm) prije dodatka kiseline

$A_{a663}$  – apsorbancija na 663 nm (od koje je oduzeta apsorbancija na 750 nm) nakon dodatka kiseline

$v$ = volumen ekstrakta (mL)

$V$ = volumen filtriranog uzorka vode (L)

$d$ = duljina kivete (cm)

### 3.3. Kvalitativna i kvantitativna analiza fitoplanktona

Kako mjerna postaja za uzorkovanje fitoplanktona i osnovnih fizikalno-kemijskih pokazatelja treba biti zajednička, fitoplankton je uzorkovan na jednom te istom mjestu. Uzorci za ispitivanje uzeti su u površinskom sloju vode, gdje dolazi do prodiranja svjetlosti (eufotička zona), u dubljem dijelu rijeke te podalje od obale kako bi se izbjeglo onečišćenje sedimentom. Uzorkovanje fitoplanktona obavljalo se na dva moguća načina, ovisno o tome je li uzorak predviđen za kasniju kvalitativnu ili kvantitativnu obradu. Mrežni uzorci fitoplanktona za kvalitativnu analizu dobiveni su pocjeđivanjem 10 L vode tako što se je fitoplanktonska mrežica po Burchardt-u potapala 10 puta u rijeku, a sadržaj mrežice skupljao se u plastičnu bočicu. Dobiveni mrežni uzorak fiksiran je u 4%-tnoj otopini formaldehida (oko 11 mL). Za kvantitativnu analizu uzeto je 100 mL nefiltriranog uzorka koji je fiksiran sa 500  $\mu$ m Lugolove otopine (5 mL Lugolove otopine na 1 L uzorka) do svijetlo smeđe boje kako pretjerana količina ne bi promijenila strukturu algi, a time i otežala determinaciju.

Kvalitativna analiza nedijatomejskih vrsta podrazumijevala je određivanje sastava fitoplanktona i ocjenu relativne brojnosti. U determinaciji vrsta koristio se je svjetlosni mikroskop (Carl Zeiss Jenna) pri povećanjima od 12,5x, 25x i 40x te računalni software Moticam 2300. Trajni preparati dijatomeja također su se mikroskopirali navedenim svjetlosnim mikroskopom, ali s imerzijskim objektivom pri povećanju od 100x. Kako bi se osiguralo pravilno određivanje taksonomske pripadnost pojedine vrste korišteni su standardni ključevi za determinaciju algi: Hindak i sur., 1975; Hindak, 1977-1990; Hindak i sur., 1978; Krammer i Lange- Bertalot, 1986 i 1991; Komárek, 1973; Starmach, 1966). Nakon determinacije, nomenklatura je vrsta usklađena prema bazi podataka AlgaeBase (Guiry i Guiry, 2014).

Postupak kvantitativna analize podrazumijevao je određivanje brojnosti fitoplanktona, a uključivao je bilježenje uočenih vrsta i njihovog broja na poznatoj površini komorice. Kako je uzorak na neko vrijeme skladišten, suspendirane su se čestice istaložile na dno prilikom čega dolazi do agregacije algi iz fitoplanktona na suspendirane čestice ili druge alge. Kako bi se navedeno izbjeglo, bočica sa uzorkom se trodimenzionalno promiješala. Ručnom homogenizacijom uzorka dobivena je željena resuspenzija koja oponaša prirodnu distribuciju alga u vodenom stupcu. Nakon homogenizacije, modificirane Utermöhl-ove komorice od pleksiglasa volumena 1 mL punjene su uzorkom te su ostavljene sedimentirati minimalno 4 sata (Utermöhl, 1958). Sedimentirane fitoplanktonske jedinice brojane su inverznim

mikroskopom (Axiovert 25, Carl Zeiss® , Inc, Göttingen, Njemačka) pod povećanjem od 600x. Brojanje je izvršeno u dvije okomite pruge, tako da je za svaki uzorak izbrojano najmanje 30 mikroskopskih polja i/ili 200 jedinki. Izračunat je prosječan broj jedinki u volumenu suspenzije koji je određen površinom na dnu komorice i dubinom komorice. Broj prebrojanih jedinki preračunat je na broj jedinki po litri (br. jed./L) prema sljedećoj formuli :

$$N = x * \eta$$

gdje je: N – broj jedinki po litri (br. jed./L)

x – ukupan broj svih prebrojanih jedinki, kolonija ili filamenata u transektima,

probnim poljima ili komorici

$\eta$  – koeficijent za preračunavanje

Koeficijent za preračunavanje ( $\eta$ ) se računa prema sljedećoj formuli:

$$\eta = P_k \times 1000 / P_x V_s$$

gdje je:  $\eta$  – koeficijent za preračunavanje

$P_k$  – površina komorice izražena u mm<sup>2</sup> ili u postotku (100 %)

$P_x$  – površina transekta ili svih probnih polja izražena u mm<sup>2</sup> ili u postotku (x %)

$V_s$  – volumen poduzorka koji se sedimentirao (mL)

Kvantitativna analiza podrazumijevala je i određivanje biomase fitoplanktona kao relevantnije mjere ocjene ekološkog stanja od brojnosti. Nakon mjerenja dimenzija (npr. promjer, visina, dužina, širina) najmanje 30 jedinki svake vrste, obliku fitoplanktonskih vrsta aproksimirana su odgovarajuća geometrijska tijela te im je na taj način izračunat biovolumen u  $\mu\text{m}^3/\text{L}$  (Hillebrand i sur., 1999). S pretpostavkom da je volumen od 1 cm<sup>3</sup> ekvivalentan masi od 1 mg, izračunata je biomasa fitoplanktona iz biovolumena jedinki (Javornický i Komárková, 1973; Sournia, 1978) na sljedeći način:

$$1 \text{ mm}^3/\text{L} = 1 \text{ cm}^3/\text{m}^3 = 1 \text{ mg}/\text{L}$$

$$1 \text{ mm}^3/\text{m}^3 = 10^6 \mu\text{m}^3/\text{L} = 1 \mu\text{g}/\text{L}$$

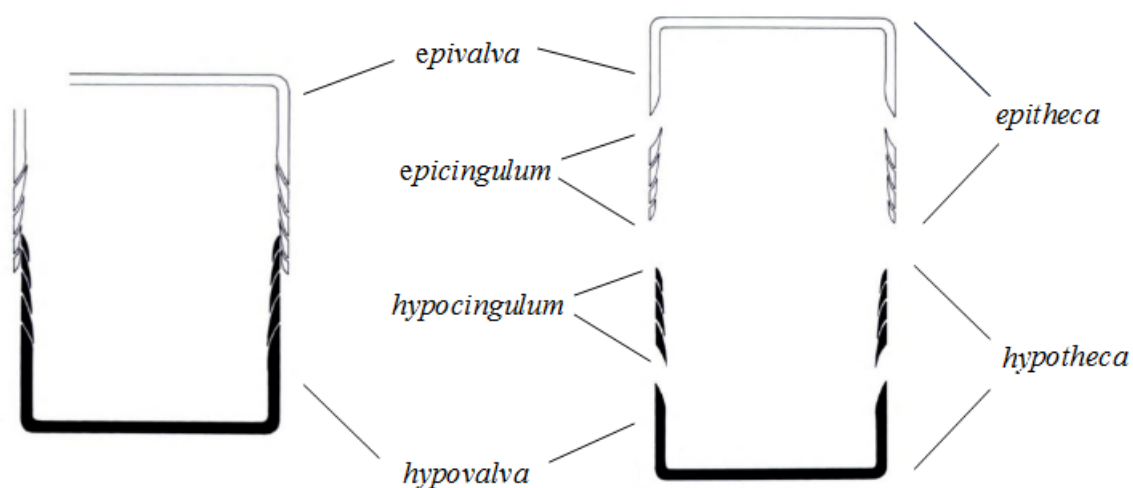
Ukupna biomasa jedinki određene svojte u jednoj litri vode dobivena je tako da se izračunata biomasa jedne jedinke pomnožila s ukupnim brojem stanica u litri vode. Funkcionalne skupine fitoplanktona određene su prema Reynolds i sur. (2002) te Padisák i sur. (2009).

### 3.4. Determinacija algi kremenjašica

#### 3.4.1. Alge kremenjašice

Alge kremenjašice ili dijatomeje (Bacillariophyceae ili Diatomeae) su jednostanični ili kolonijalni eukariotski mikroorganizmi. Ovoj skupini pripadaju većinom autotrofne, heterokontne vrste koje sadrže klorofil a i c, iako postoje vrste koje u afotičkim uvjetima, uz dostatan izvor organskog ugljika, imaju heterotrofan način ishrane. Manje od deset vrsta su obligatno heterotrofne i nepigmentirane te pripadaju rodovima *Nitzschia* i *Hantzschia*.

Protoplast dijatomeja ne razlikuje se značajno u svojoj građi od protoplasta ostalih eukariotskih algi te sadži iste organele (jezgra, mitohondriji, plastidi, diktiosomi itd.). Ono što sve vrste ove skupine čini prepoznatljivima je transparentna stanična stijenka ili frustula (lat. *frustulum* - djelić, mali dio) građena od visokog udjela silicijeva dioksida ili kremena i manjeg udjela kristalizacijski vezane vode ( $\text{SiO}_2 \times n\text{H}_2\text{O}$ ) (Seckbach i Kociolek, 2011). Kako je silicij glavni kemijski element koji sudjeluje u izgradnji stakla, a hidratiziran silicijev dioksid je kemijski i strukturalno sličan mineralu opalu, za dijatomeje se koristi termin "alge u staklenim ili opalnim kućicama" (web 7).



Slika 8. Građa ljušturice dijatomeje (Round i sur., 1990).

Frustula je multipartitna i uvijek se sastoji od dvije nasuprotno postavljene valve, jedne formirane nakon stanične diobe i druge koja se nasljeđuje i nakon mnogostrukih podjela stanice. Svaka je valva povezana sa postranim elementom ili pojasom (*cingulum* ili *mantellum*) koji se sastoji od nekoliko *copulae*. Starija, gornja valva naziva se epivalva, a



povezana je sa postranim elementom ili *epicungulum*-om te zajedno čine epiteku (*epithea*). Nova, donja valva (hipovalva) i njezin pojas (*hypocingulum*) čine hipoteku (*hypotheca*). Kako se valve razlikuju u veličini, epiteka i hipoteka ulaze jedna u drugu po principu poklopca i kutije (Slika 8) (Round i sur., 1990).

### 3.4.2. Metoda čišćenja dijatomeja

Frustula štiti eukariotski protoplast, sudjeluje u apsorpciji nutrijenata, izmjeni plinova, sekreciji staničnih produkata, a njezina morfologija čini osnovu u identifikaciji i klasifikaciji dijatomeja (Seckbach i Kociolek, 2011). Determinacija algi kremenjašica temelji se na uočavanju detaljnih struktura na njihovim ljušturicama. No, većinu je algi kremenjašica teško determinirati prilikom kvalitativne analize uzorka pri zadanim povećanjima (100, 200 i 400x) zbog prisutnosti staničnog sadržaja, naročito kloroplasta. Stoga, koristili smo metodu čišćenja i izrade trajnih preparata kako bi uklonili organski i anorganski materijal što je omogućilo bolje uočavanje struktura i preciznije određivanje dijatomeja u fitoplanktonskom uzorku.

Postupak čišćenja sastojao se od nekoliko navedenih koraka.

#### 1. Ispiranje uzorka

Trajni su preparati izrađivani od konzerviranoga materijala koji je predhodno bio fiksiran u 4%- tnoj otopini formaldehida. Prvi se korak u izradi trajnih preparata sastojao od ispiranja formaldehida iz konzerviranog uzorka upotrebom destilirane vode. Ispiranje se provodilo na sljedeći način: u epruvetu sa 4 mL konzerviranog materijala dodali smo 4 mL destilirane vode te razrijeđenu suspenziju dobro protresli. Kako bi ubrzali proces sedimentacije, uzorak smo centrifugirali 2 minute na 1500 rpm-a. Nakon centrifugiranja, pažljivo smo odvojili supernatant od taloga postupkom dekantiranja, pazeći da se uzorak ne zamuti. Navedeni postupak ponovili smo još četiri puta.

#### 2. Uklanjanje organske tvari iz uzorka

Nakon uklanjanja formaldehida, potrebno je ukloniti protoplast dijatomeja i ostali suvišni organski materijal (npr. makroalge, fragmenti listova). Dobivenu suspenziju (4mL) dobro smo protresli radi homogenizacije, a tada dodali 8 mL 30% vodikova peroksida, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Vodikov smo peroksid oprezno dodavali prilikom prelijevanja kako bi spriječili prskanje. Suspenziju

smo zagrijavali u vodenoj kupelji 1-3 h na 90° C dok se nije u potpunosti odstranio organski materijal.

### 3. Uklanjanje anorganske tvari iz uzorka

Valve dijatomeja iznenađujuće su stabilne u prisutnosti jakih kiselina, ali se razgrađuju pod utjecajem lužina. Iz navedenog razloga, kalcijev ili magnezijev karbonat efikasno se uklanjaju uz klorovodičnu ili nitratnu kiselinu uz blago zagrijavanje (Seckbach i Kociolek, 2011). U posljednjem koraku, suspenziji smo dodali par kapi 1M klorovodične kiseline. Na završetak reakcije kalcijeva karbonata i klorovodične kiseline ukazuje prestanak pjenjenja, što znači da su svi karbonati uklonjeni iz uzorka. Ohlađenu suspenziju smo centrifugirali, prema prethodno opisanom postupku, dekantirali supernatant i talogu dodali destiliranu vodu. Postupak smo proveli još tri puta. Na kraju, očišćen dijatomejski talog resuspendirali smo u maloj količini destilirane vode te pohranili u epruveti sa čepom. Destilirana se voda dodaje kako bi se smanjila gustoća frustula na trajnom preparatu što je olakšalo kasniju determinaciju.

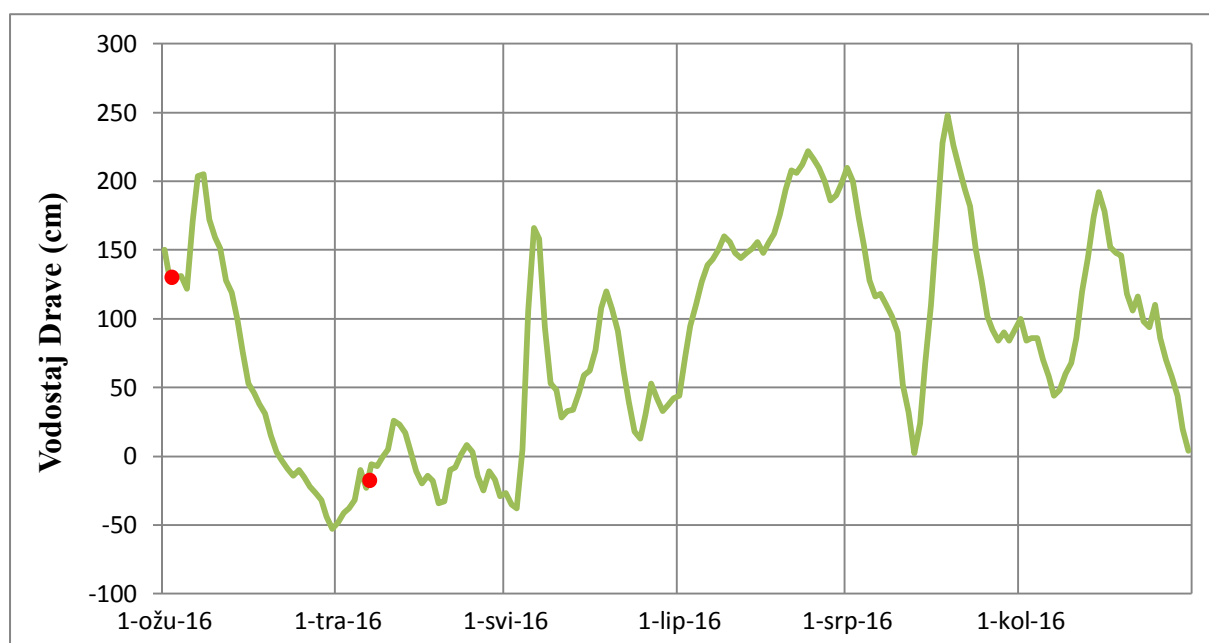
#### 3.4.3. Izrada trajnih preparata

Samo potpuno očišćen uzorak može se iskoristi se za izradu kvalitetnih trajnih preparata. Na čiste pokrovnice nanijeli smo pomoću mikropipete količinu uzorka koja je u potpunosti prekrila njegovu površinu (1mL) i ostavili ih da se suše pri sobnoj temperaturi na mjestu bez vibracija. Nakon isparavanja suspenzije, na pokrovnom je stakalcu ostala tanka bijelo-siva prevlaka dijatomejskog taloga. U izradi dijatomejskih mikroskopskih preparata između uzorka i staklenih pločica stavlja se sredstvo za prekrivanje/montiranje (Naphrax, Hyrax), preporučljivo ono s većim refrakcijskim indeksom od staklenih dijatomejskih ljušturica. Sredstvo za montiranje stabilizira subjektni materijal i omogućava adhezijsko prijanjanje predmetnice i pokrovnice. U istu svrhu, na malo zagrijanu predmetnicu stavili smo Canada balzam i na nju postavili pokrovnicu (stranom s osušenim talogom prema balzamu). Predmetnicu smo zagrijavali kako bi se smola raširila po čitavoj površini pokrovnog stakalca. Histološkom smo iglicom istisnuli nastale mjehuriće zraka i preparat ostavili na hlađenje. Za svaki od dva uzorka izrađena su četiri trajna preparata.

## 4. REZULTATI

### 4.1. Rezultati analize fizikalno-kemijskih svojstava vode

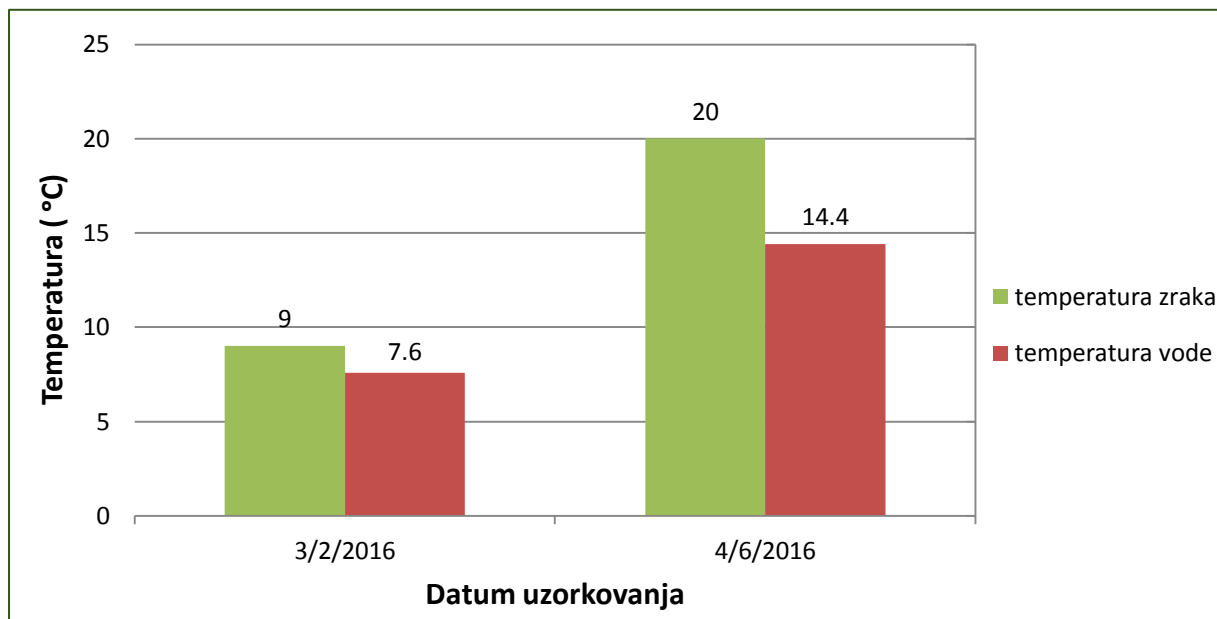
U rijeci Dravi pokraj Osijeka praćena su sljedeća fizikalno-kemijska svojstva vode: temperatura zraka i vode, pH vrijednost, prozirnost vode, koncentracija otopljenog kisika, zasićenost vode kisikom, električna provodljivost te koncentracija klorofila. Podaci o vodostaju rijeke Drave preuzeti su od javne ustanove Hrvatske vode i odnose se na mjernu postaju Osijek. Istraživano je razdoblje bilo karakterizirano niskim vrijednosima vodostaja koji je na dan uzorkovanja u ožujku iznosio 127 cm. Nakon kratkotrajnog nešto višeg vodostaja na početku ožujka, dolazi do naglog pada tijekom ostalog dijela mjeseca, s najnižim vrijednostima u travnju koje su na datum uzorkovanja iznosile svega -23 cm (Slika 9).



Slika 9. Vodostaji Drave na vodomjernoj postaji Osijek u razdoblju od ožujka do kolovoza 2016. godine s označenim datumima uzorkovanja (●) (Izvor: Hrvatske vode, VGO Osijek)

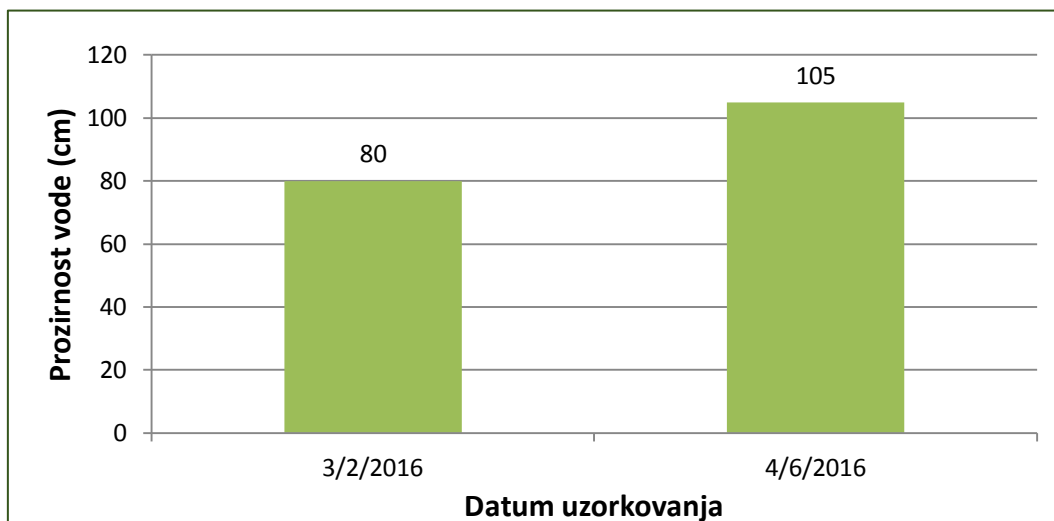
Tijekom istraživanog razdoblja, temperatura vode u rijeci mijenjala se je u skladu sa promjenama temperature zraka; s porastom temperature zraka, rasla je i temperatura vode. Povišenje temperature zraka za 11 °C u travnju, uzrokovalo je porast temperature vode za 6,8 °C. U oba razdoblja, temperatura zraka bila je viša od temperature vode (za 1,4 °C u ožujku te 5,6 °C u travnju). Zbog velikog toplinskog kapaciteta vode, uočene su manje temperaturne oscilacije vode u usporedbi sa većim oscilacijama u temperaturi zraka. Očekivano, i

temperatura vode i temperatura zraka bile su više tijekom proljetnog, nego zimskog razdoblja (Slika 10).



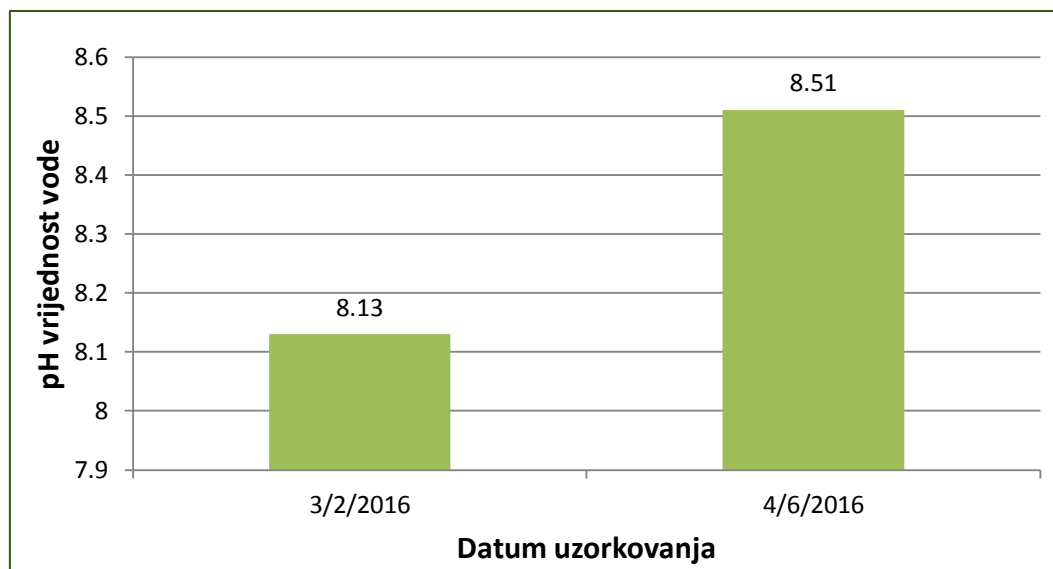
Slika 10. Promjene temperature zraka i vode (°C) u rijeci Dravi pokraj Osijeka tijekom istraživanog razdoblja u 2016. godini

Prozirnost vode bila je niska tijekom oba istraživana razdoblja zahvaljujući većoj količini suspendiranih čestica pijeska i mulja u vodi. U travnju je prozirnost bila veća i iznosila je 105 cm, dok je u ožujku bila niža s izmjerenom vrijednosti od 80 cm (Slika 11).



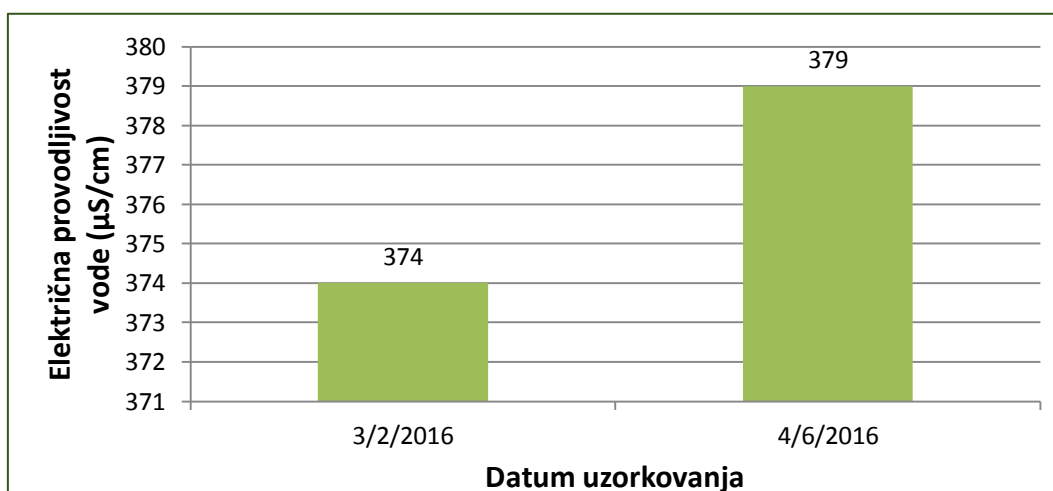
Slika 11. Promjena prozirnosti vode (cm) u rijeci Dravi pokraj Osijeka tijekom istraživanog razdoblja u 2016. godini

Rijeka je Drava u oba ispitivana perioda bila slabo alkalična. Izmjerena pH vrijednost u ožujku iznosila je 8,13, a u travnju 8,51. Dakle, povećanje lužnatosti za 0,38 nije značajna promjena pH vrijednosti vode (Slika 12).



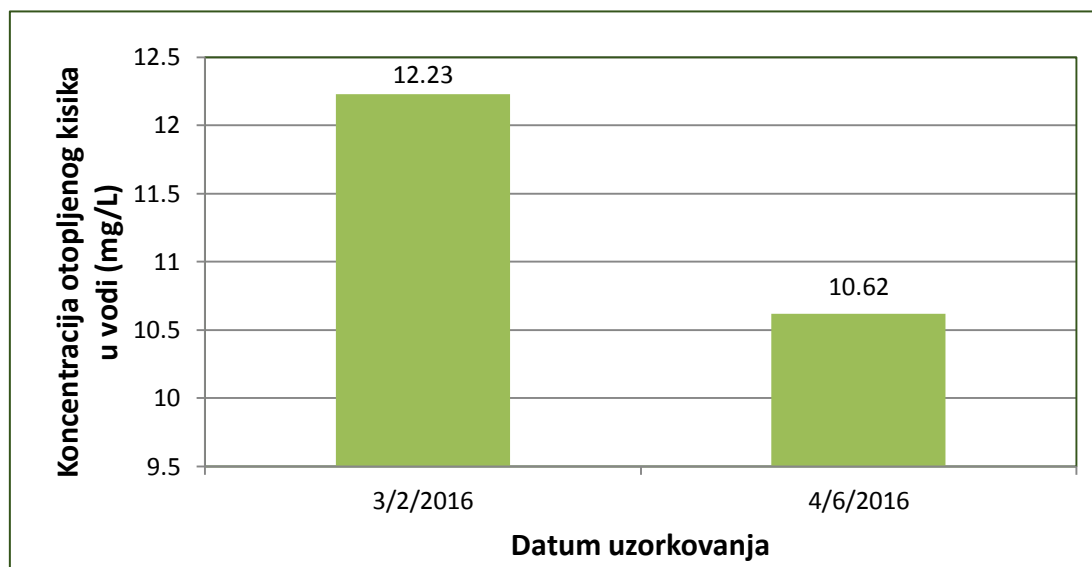
Slika 12. Promjene pH vrijednosti vode rijeke Drave pokraj Osijeka tijekom istraživnog razdoblja u 2016. godini

Vrijednosti električne provodljivosti riječne vode gotovo se i nisu mijenjale tijekom kasne zime i ranoga proljeća. U travnju je izmjereno neznatno povećanje električne provodljivosti sa 374  $\mu\text{S/cm}$  u ožujku na 379  $\mu\text{S/cm}$  (Slika 13).



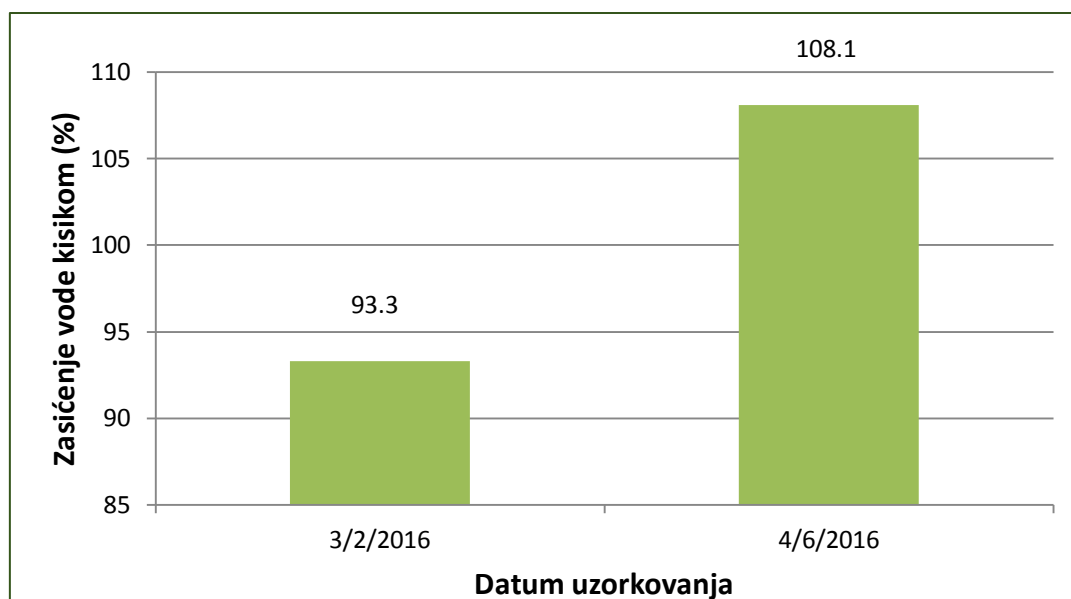
Slika 13. Promjene električne provodljivosti vode ( $\mu\text{S/cm}$ ) rijeke Drave pokraj Osijeka tijekom istraživnog razdoblja u 2016. godini

Na slici 14 može se uočiti kako je na istraživanom lokalitetu koncentracija otopljenoga kisika počela opadati od ožujka (12,23 mg/L) do travnja (10,62 mg/L) što je u skladu sa trendom opadanja koncentracije kisika u vodi krećući se prema ljetnim mjesecima. Sukladno s navedenim, temperaturna se krivulja vode svojim promjenama nalazila u obrnuto proporcionalnom odnosu sa promjenama krivulje koncentracije kisika u vodi. O<sub>2</sub>



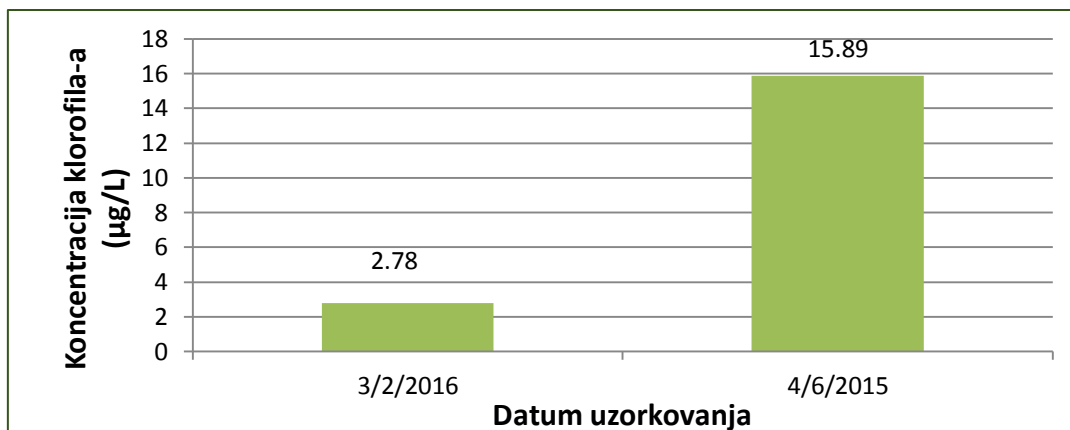
Slika 14: Promjene koncentracije otopljenog kisika (mg/L) u rijeci Dravi pokraj Osijeka tijekom istraživanog razdoblja u 2016. godini

Promjene u zasićenju vode kisikom trebale su se mijenjati u skladu sa promjenama u koncentraciji otopljenoga kisika u vodi. Sa povećanjem koncentracije otopljenoga kisika i manjom temperaturom, očekivano je veće zasićenje vode kisikom u ožujku, u usporedbi sa vrijednostima u travnju. No, zabilježeno je nešto veće zasićenje vode kisikom u travnju (108,1 %), nego u ožujku (93,3 %) (Slika 15).

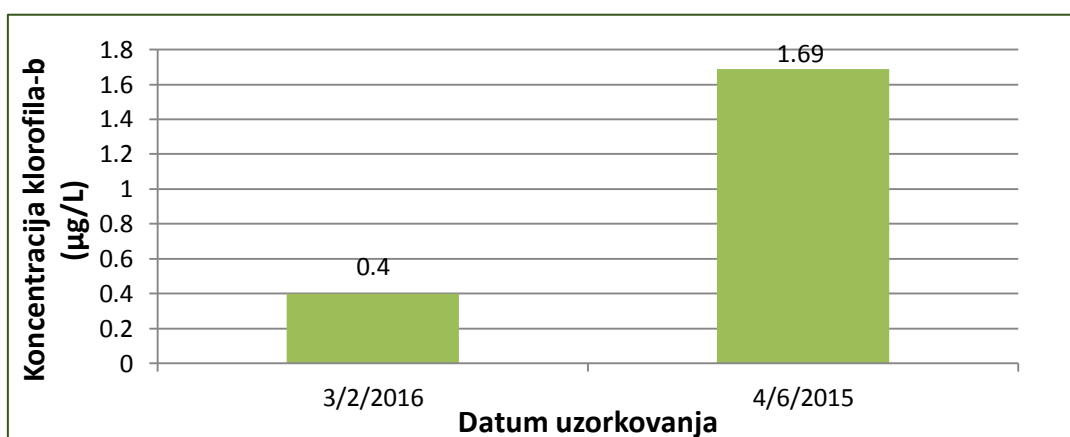


Slika 15. Promjene zasićenosti vode kisikom (%) u rijeci Dravi pokraj Osijeka tijekom istraživanog razdoblja u 2016. godini

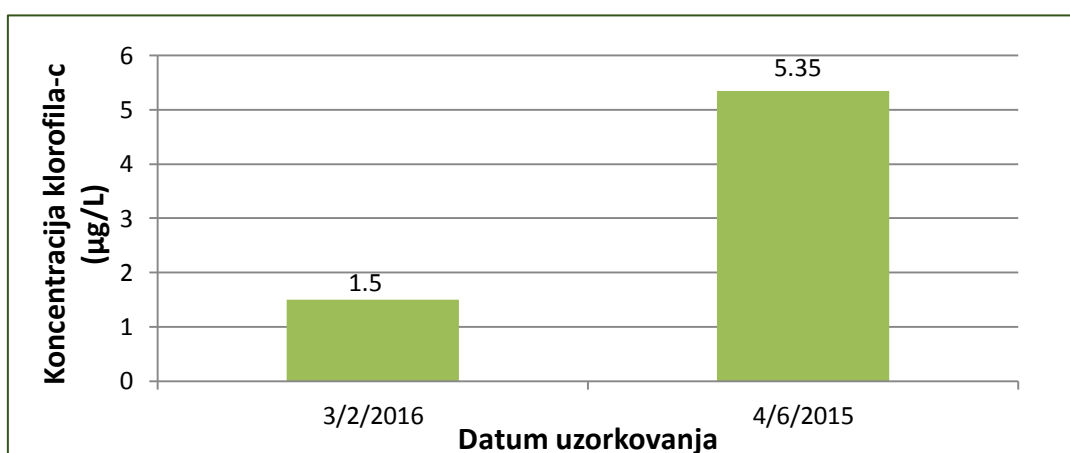
Koncentracije klorofila-a, -b i -c bile su međusobno značajno pozitivno korelirane tijekom istraživanoga razdoblja. Veće vrijednosti koncentracije klorofila-a, -b i -c zabilježene su tijekom ranoga proljeća, a niže vrijednosti određene su tijekom kasno zimskog perioda. Tijekom istraživanog razdoblja uočena je veća razlika u koncentraciji klorofila-a u usporedbi s koncentracijama klorofila-b i -c. Analizom uzorka u travnju (15,89  $\mu\text{g/L}$ ) utvrđena je gotovo šest puta veća koncentracija klorofila-a u odnosu na ožujak (2,78  $\mu\text{g/L}$ ) (Slika 16). Na slikama 17 i 18 može se uočiti kako je u ožujku koncentracija klorofila-b iznosila 0,40  $\mu\text{g/L}$ , a koncentracija klorofila-c 1,50  $\mu\text{g/L}$ . U travnju je četverostruko povećanje koncentracije klorofila-b rezultiralo vrijednošću od 1,69  $\mu\text{g/L}$ , dok je koncentracija klorofila-c iznosila je 5,35  $\mu\text{g/L}$ .



Slika 16. Koncentracija klorofila-a (µg/L) u rijeci Dravi pokraj Osijeka tijekom istraživanog razdoblja u 2016. godini



Slika 17. Koncentracija klorofila-b (µg/L) u rijeci Dravi pokraj Osijeka tijekom istraživanog razdoblja u 2016. godini

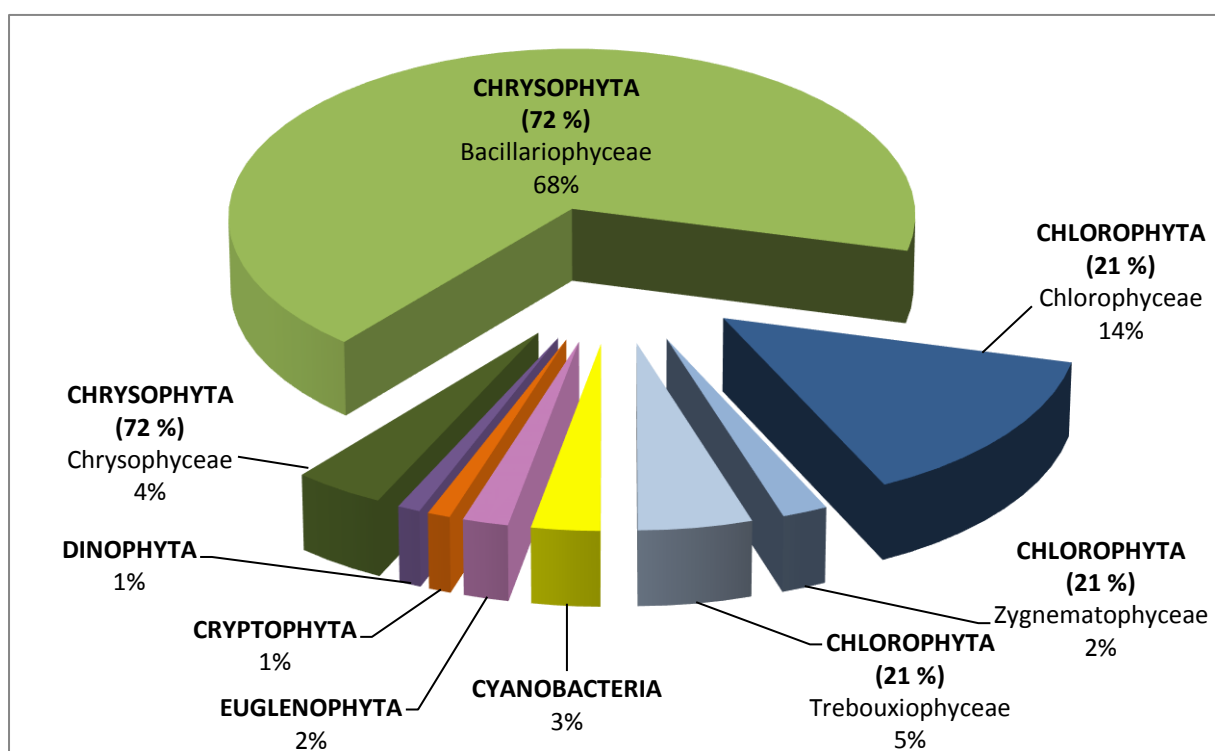


Slika 18. Koncentracija klorofila-c (µg/L) u rijeci Dravi pokraj Osijeka tijekom istraživanog razdoblja u 2016. godini



#### 4.2. Kvalitativni sastav fitoplanktona

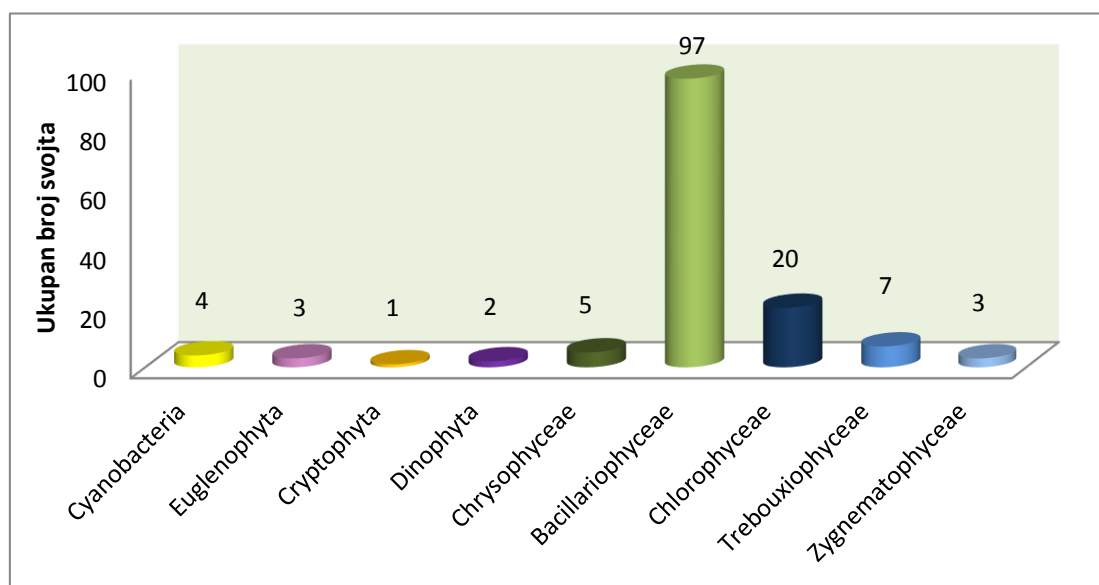
Tijekom istraživanih razdoblja, u ožujku i travnju 2016. godine, kvalitativnom analizom, u dva uzorka fitoplanktona rijeke Drave pokraj Osijeka, ukupno je pronađeno 142 svojta fitoplanktona; od čega je određeno 127 vrsta, 20 varijeteta, a 6 je određeno do kategorije roda. Vrste su se svrstale u šest odjeljaka: Chlorophyta, Chrysophyta (Heterokontophyta), Cryptophyta, Cyanobacteria, Dinophyta (Pyrophyta) i Euglenophyta. U ukupnom kvalitativnom sastavu najzastupljeniji je bio taksonomski odjeljak Chrysophyta (72%), odnosno njemu pripadajući razred Bacillariophyceae (dijatomeje) koji je u pravilu činio oko 68% ukupnog broja svojta. Svojte iz odjeljka Chlorophyta (zelene alge) bile su nešto manje zastupljene s udjelom od 21% od čega je najviše bio zastupljen razred Chlorophyceae (14%). Ostale taksonomske kategorije s najmanjim zastupljenostima bile su: Trebouxiophyceae (5%), Chrysophyceae (4%), Cyanobacteria (3%), Euglenophyta (2%), Zygnematophyceae (2%), Cryptophyta (1%) te Dinophyta (1%). Popis nađenih taksonomskih svojta fitoplanktona i njihova vremenska dinamika kretanja prikazani su u tablici 2. Sumarni pregled postotne zastupljenosti broja vrsta prema sistematskim kategorijama iznešen je na slici 19.



Slika 19. Postotna zastupljenost broja vrsta pojedinih sistematskih kategorija u ukupnom kvalitativnom sastavu fitoplanktona rijeke Drave tijekom istraživanih razdoblja u 2016.

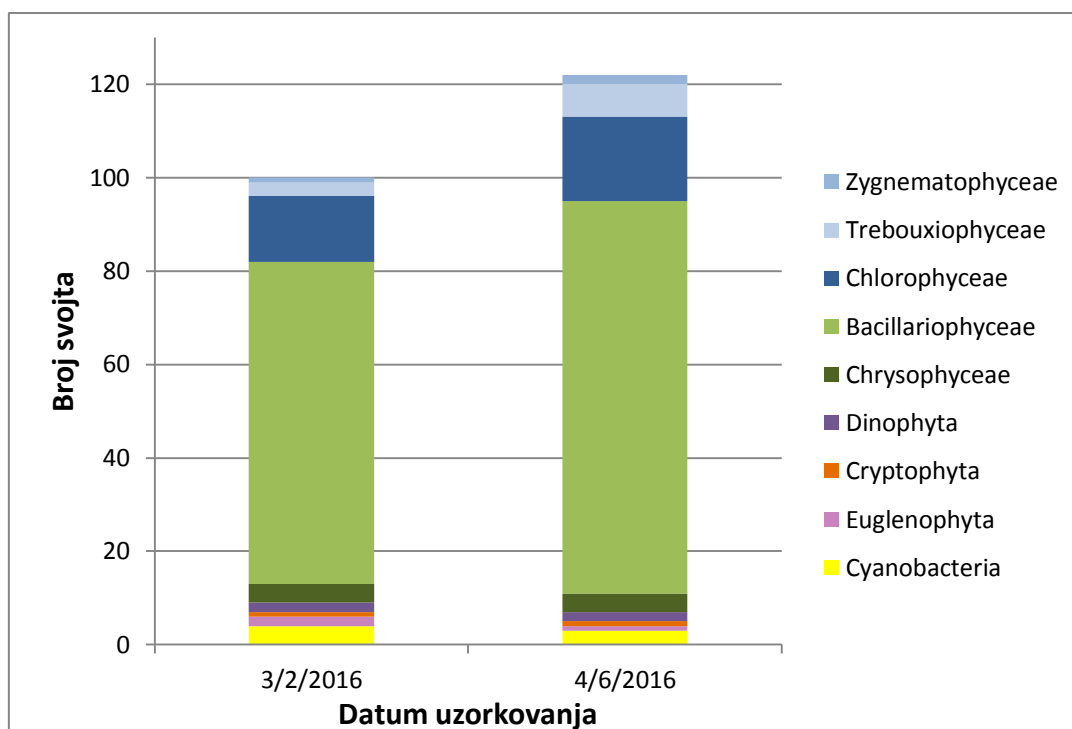
godini

Najveći broj svojta u ukupnom kvalitativnom sastavu utvrđen je za odjeljak Chrysophyta (102 svojta), od čega su 97 svojta (88 vrsta i 20 varijeteta) pripadali vrsno najmnogobrojnijem razredu Bacillariophyceae. Druga taksonomska kategorija koja je dominirala ukupnim brojem vrsta bio je odjeljak Chlorophyta sa 30 svojta; odnosno njemu pripadajući razred Chlorophyceae sa 20 svojta (19 vrsta i jednom svojtom određenom do kategorije roda). Razred Trebouxiophyceae bio je predstavljen sa ukupno 7 vrsta, a razred Chrysophyceae sa 4 vrste i jednim rodом, dok je odjeljak Cyanobacteriae bio zastupljen sa 4 vrste. Po tri svojte pripadale su odjeljku Euglenophyta i razredu Zygnematophyceae. Najmanjim brojem vrsta predstavljeni su odjeljci Dinophyta sa dvije svojte (1 vrsta i 1 rod) i Cryptophyta sa samo jednim rodом (Slika 20).



Slika 20. Ukupan broj svojti pojedinih sistematskih kategorija u ukupnom kvalitativnom sastavu fitoplanktona rijeke Drave tijekom istraživnog razdoblja u 2016. godini

Iz slike 21 vidljivo je da je tijekom istraživnog razdoblja najveći broj svojta utvrđen u travnju, ukupno 122, dok je mjesec ožujak imao nešto manje raznolik kvalitativan sastav fitoplanktona (100 svojta). Generalno, broj svojti većine taksonomskih kategorija ostao je isti ili se je povećao prilikom prijelaza iz kasno zime sezone u rano proljetni period. I u ožujku i u travnju najdominantniji je bio razred Bacillariophyceae (odjeljak Chrysophyta), kojega je na drugom mjestu slijedio razred Chlorophyceae. U ožujku je određen nešto veći kvalitativan sastav odjeljaka Cyanobacteria i Euglenophyta u usporedbi sa brojem svojta u travnju.



Slika 21. Promjene broja svojta u kvalitativnom sastavu fitoplanktona rijeke Drave u ožujku i lipnju 2016. godine

Relativna brojnost fitoplanktonskih vrsta prikazana je u Tablici 2. Vrste dijatomeja koje su i u ožujku i u travnju bile gotovo masovno zastupljene (kategorija 4-5) su *Asterionella formosa* (Sl.9.1.) i *Stephanodiscus hantzschii* (Sl.9.2.), a brojne vrste (kategorija 4) bile su i *Synedra ulna* (Sl.9.3.) te *Tabellaria fenestrata* (Sl.9.4.). *Fragilaria acus* (Sl.9.5.) bila je umjereno do brojno zastupljena vrsta (kategorija 3-4), dok su umjerenu zastupljenost (kategorija 3) imale vrste kao što su: *Cymbella ventricosa*, *Diatoma vulgare var. vulgare*, *Gomphonema olivaceum*, *Navicula lanceolata*, *Nitzschia acicularis*, *Nitzschia sigmaidea* (Sl.9.6) i *Rhoicosphenia curvata*. U kvalitativnom sastavu *Cyclotella meneghiniana*, *Cocconeis placentula* i *Cymbella cistula* (Sl.9.2.,9.7.,9.8.) bile su rijetko do umjereno prisutne vrste.

Od cijanobakterija vrsta *Aphanisomenon gracile* (Sl.9.9) imala je umjerenu prisutnost u ožujku, a u istoj kategoriji zastupljenost nalazile su se zelene alge *Dictyosphaerium pulchellum* (Sl.9.10) u ožujku i *Koliella longiseta* (Sl.9.11) u travnju. Vrste ostalih navedenih taksonomskih skupina bile su ili povremeno (kategorija 1) ili rijetko (kategorija 2) prisutne. Također, u kvalitativnom sastavu fitoplanktona rijeke Drave tijekom oba istraživana mjeseca utvrđena je invazivna vrsta *Didymosphenia geminata* (Sl.9.12) koja je uvrštena u kategoriju 1, odnosno bila je povremeno prisutna vrsta. Slike odabranih vrsta prikazane su u Prilogu 1.

Tablica 2. Kvalitativni sastav i procjena relativne brojnosti fitoplanktona rijeke Drave pokraj Osijeka u ožujku i travnju 2016. godine

VRSTA	Relativna brojnost	
	2.3.2016.	6.4.2016
<b>CYANOBACTERIA</b>		
<i>Aphanizomenon gracile</i> (Lemmerman) Lemmerman	3	1-2
<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing	1	-
<i>Oscillatoria limosa</i> C.Agardh ex Gomont	2	1
<i>Pseudanabaena limnetica</i> (Lemmerman) Komárek	1	1
<b>EUGLENOPHYTA</b>		
<i>Euglena</i> sp.	1	-
<i>Euglena tripteris</i> (Dujardin) Klebs	1	-
<i>Euglena viridis</i>	-	1
<b>CRYPTOPHYTA</b>		
<i>Cryptomonas</i> sp.	1	1
<b>DINOPHYTA (Pyrophyta)</b>		
<i>Glenodinium</i> sp.	1	1
<i>Peridinium cinctum</i> (O.F.Müller) Ehrenberg	2	1
<b>CHRYSTOPHYTA (Heterokontophyta)</b>		
<b>Razred: Chrysophyceae</b>		
<i>Chrysococcus rufescens</i> G.A.Kelbs	1	1
<i>Dinobryon divergens</i> O.E.Imhof	2	2
<i>Mallomonas acaroides</i> Perty	-	1
<i>Mallomonas</i> sp.	1	-
<i>Synura uvella</i> Ehrenberg	2	1
<b>Razred: Bacillariophyceae</b>		
<i>Achnanthes exigua</i> Grunow	1	-
<i>Achnanthes hungarica</i> (Grunow) Grunow	1	-
<i>Achnanthes inflata</i> (Kützing) Grunow	-	1
<i>Achnanthes lanceolata</i> var. <i>dubia</i> Grunow	1	-
<i>Achnanthes lanceolata</i> var. <i>elliptica</i> Cleve	1	1
<i>Achnanthes lanceolata</i> var. <i>lanceolata</i>	2	2
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	2	2
<i>Aulacoseira granulata</i> var. <i>angustissima</i> (O. Müller) Simonsen	1	1
<i>Amphora ovalis</i> (Kützing) Kützing	1	1
<i>Amphora pediculus</i> (Kützing) Grunow ex A.Schmidt	1	1
<i>Amphora veneta</i> Kützing	1	-

<i>Asterionella formosa</i> Hassall	4-5	4-5
<i>Caloneis amphisbaena</i> (Bory) Cleve	1	1
<i>Caloneis silicula</i> var. <i>minuta</i> (Grunow) F.W.Mills	1	1
<i>Caloneis silicula</i> var. <i>ventricosa</i> (Ehrenberg) (Donkin) Cleve	1	-
<i>Cocconeis pediculus</i> Ehrenberg	1	1
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg	2-3	2-3
<i>Cyclostephanos invisitatus</i> (Hohn & Hellermann) Theriot, Stoermer & Håkasson	1	1
<i>Cyclotella distinguenda</i> Hustedt	1	1
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing	2-3	2-3
<i>Cymatopleura elliptica</i> var. <i>elliptica</i> (Brébisson) W.Smith	-	1
<i>Cymatopleura elliptica</i> var. <i>nobilis</i> (Hantzsch) Hustedt	1	1
<i>Cymatopleura solea</i> var. <i>regula</i> (Ehrenberg) Grunow	2	1
<i>Cymatopleura solea</i> var. <i>solea</i> (Brébisson & Godey) W.Smith	1	-
<i>Cymbella cistula</i> (Ehrenberg) O.Kirchner	2-3	2-3
<i>Cymbella ehrenbergii</i> Kützing	-	1
<i>Cymbella lanceolata</i> (C.Agardh) Kirchner	1	1
<i>Cymbella naviculiformis</i> Auerswald ex Heiberg	-	1
<i>Cymbella prostata</i> (Berkeley) Cleve	1	1
<i>Cymbella ventricosa</i> (C.Agardh) C.Agardh	3	3
<i>Diatoma tenue</i> var. <i>elongatum</i> Lyngbye	1	1
<i>Diatoma vulgare</i> var. <i>grande</i> (W.Smith) Grunow	1	1
<i>Diatoma vulgare</i> var. <i>vulgare</i> Bory de Saint-Vincent	3	3
<i>Didymosphenia geminata</i> (Lyngbye) M.Schmidt	1	1
<i>Eunotia acus</i> var. <i>fallax</i>	-	1
<i>Fragilaria acus</i> (Kützing) Lange-Bertalot	3-4	3-4
<i>Fragilaria capucina</i> var. <i>mesolepta</i> (Rabenhorst) Rabenhorst	-	1
<i>Fragilaria capucina</i> var. <i>vaucheriae</i> (Kützing) Lange-Bertalot	1-2	1-2
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton	3	3
<i>Fragilaria pinnata</i> Ehrenberg	1	1
<i>Gomphonema angustatum</i> (Kützing) Rabenhorst	1	1
<i>Gomphonema olivaceoides</i> Hustedt	-	1
<i>Gomphonema olivaceum</i> (Hornemann) Brébisson	3	3
<i>Gomphonema parvulum</i> (Kützing) Kützing	-	1
<i>Gomphonema tergestinum</i> (Grunow) Fricke	-	1
<i>Gomphonema truncatum</i> Ehrenberg	-	1
<i>Gyrosigma attenuatum</i> (Kützing) Rabenhorst	2	1
<i>Gyrosigma acuminatum</i> (Kützing) Rabenhorst	2	1
<i>Hannaea arcus</i> (Ehrenberg) R.M.Patrick	1	1
<i>Hantzschia amphioxys</i> (Ehrenberg) Grunow	1	-
<i>Meridion circulare</i> (Greville) C.Agardh	1	1
<i>Navicula anglophila</i> Lange-Bertalot	2	2
<i>Navicula capitata</i> var. <i>capitata</i> Ehrenberg	2	2

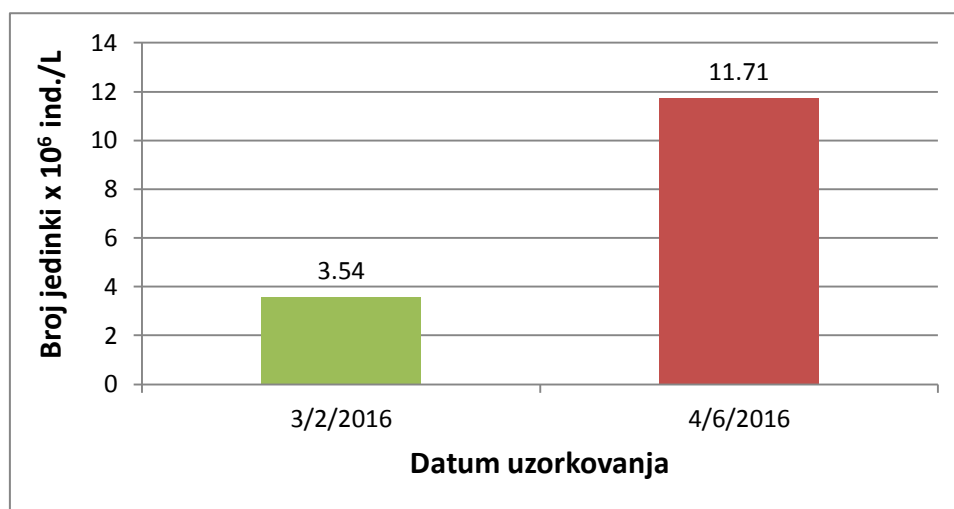
<i>Navicula confervacea</i> (Kützing) Grunow	-	1
<i>Navicula cuspidata</i> (Kützing) Kützing	-	1
<i>Navicula cryptotenella</i> Lange-Bertalot	1	1
<i>Navicula detenta</i> Hustedt	-	1
<i>Navicula elginensis</i> (W.Gregory) Ralfs	1	1
<i>Navicula exiqua</i> (Gregory) Grunow	1	1
<i>Navicula gracilis</i> Ehrenberg	2	2
<i>Navicula lanceolata</i> Ehrenberg	3	3
<i>Navicula menisculus</i> Schumann	2	2
<i>Navicula protracta</i> (Grunow) Cleve	-	1
<i>Navicula radiosa</i> Kützing	1	1
<i>Navicula reinhardtii</i> (Grunow) Grunow	1	1
<i>Navicula seminulum</i> Grunow	-	1
<i>Navicula slesvicensis</i> Grunow	1	1
<i>Neidium ampliatum</i> (Ehrenberg) Krammer	-	1
<i>Neidium dubium</i> (Ehrenberg) Cleve	1	-
<i>Nitzschia acicularis</i> (Kützing) W.Smith	3	3
<i>Nitzschia amphibia</i> Grunow	1	1
<i>Nitzschia filiformis</i> (W.Smith) Van Heurck	1	-
<i>Nitzschia holsatica</i> Hustedt	-	1
<i>Nitzschia linearis</i> W.Smith	1	1
<i>Nitzschia palea</i> (Kützing) W.Smith	2	2
<i>Nitzschia recta</i> Hantzsch ex Rabenhorst	-	1
<i>Nitzschia sigmoidea</i> (Nitzsch) W.Smith	3	3
<i>Nitzschia sinuata</i> var. <i>tabellaria</i> (Grunow) Grunow	-	1
<i>Opephora martyi</i> Héribaude-Joseph	-	1
<i>Pinnularia lundii</i> Hustedt	-	1
<i>Pinnularia microstauron</i> var. <i>brebissonii</i> (Kützing) Mayer	-	1
<i>Rhoicosphenia curvata</i> (Kützing) Grunow	3	3
<i>Sellaphora bacillum</i> (Ehrenberg) D.G.Mann	1	1
<i>Stauroneis anceps</i> Ehrenberg	1	1
<i>Stauroneis smithii</i> Grunow	-	1
<i>Stephanodiscus hantzschii</i> Grunow	4-5	4-5
<i>Stephanodiscus neoastraea</i> Håkansson & Hickel	1	-
<i>Surirella brebissonii</i> Krammer & Lange-Bertalot	1	1
<i>Surirella caproni</i> Brébisson ex F.Kitton	1	-
<i>Surirella elegans</i> Ehrenberg	1	-
<i>Surirella tenera</i> W.Gregory	-	1
<i>Synedra capitata</i> Ehrenberg	-	1
<i>Synedra parasitica</i> var. <i>parasitica</i> (W.Smith) Hustedt	1	1
<i>Synedra parasitica</i> var. <i>subconstricta</i> (Grunow) Hustedt	-	1
<i>Synedra ulna</i> (Nitzsch) Ehrenberg	4	4
<i>Tabellaria fenestrata</i> (Lyngbye) Kützing	4	4

<i>Tabellaria flocculosa</i> (Roth) Kützing	-	1
<b>CHLOROPHYTA</b>		
<b>Razred: Chlorophyceae</b>		
<i>Actinastrum hantzschii</i> Lagerheim	2	2
<i>Ankistrodesmus gracilis</i> (Reinsch) Korshikov	1	-
<i>Chlamydomonas</i> sp.	2	2
<i>Coenochloris pyrenoidosa</i> Korshikov	-	1
<i>Eudorina elegans</i> Ehrenberg	2	2
<i>Golenkinia radiata</i> Chodat	-	1
<i>Gonium sociale</i> (Dujardin) Warming	2	2
<i>Monoraphidium arcuatum</i> (Korshikov) Hindák	1	1
<i>Monoraphidium contortum</i> (Thuret) Komárková-Legnerová	3	3
<i>Pandorina morum</i> (O.F.Müller) Bory	-	1
<i>Pediastrum boryanum</i> (Turpin) Meneghini	2	2
<i>Pediastrum duplex</i> Meyen	2	2
<i>Pediastrum simplex</i> Meyen	1	1
<i>Scenedesmus abundans</i> (O.Kirchner) Chodat	-	1
<i>Scenedesmus acuminatus</i> (Lagerheim) Chodat	2	2
<i>Scenedesmus quadricauda</i> (Turpin) Brébisson	2	2
<i>Scenedesmus magnus</i> Meyen	1	1
<i>Scenedesmus opoliensis</i> P.G.Richter	1	-
<i>Stigeoclonium tenue</i> (C.Agardh) Kützing	-	1
<i>Tetraëdron limneticum</i> Borge	-	1
<b>Razred: Trebouxiophyceae</b>		
<i>Chlosteriopsis acicularis</i> (Chodat) J.H.Belcher & Swale	-	1
<i>Crucigenia quadrata</i> Morren	1	2
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i> H.C.Wood	3	2
<i>Koliella longiseta</i> (Vischer) Hindák	2	3
<i>Lagerheimia genevensis</i> (Chodat) Chodat	-	1
<i>Micractinium pusillum</i> Fresenius	-	1
<i>Oocystis lacustris</i> Chodat	-	1
<b>Razred: Zygnematophyceae (Conjugatophyceae)</b>		
<i>Closterium gracile</i> Brébisson ex Ralfs	-	1
<i>Cosmarium phaseolus</i> Brébisson ex Ralfs	-	1
<i>Staurostrum</i> sp. <i>Gracile ili paradoxum</i>	1	-

Legenda: 1-povremena vrsta, 2-rijetka vrsta, 3-umjereno prisutna vrsta, 4-brojna vrsta, 5-masovno prisutna vrsta

### 4.3. Kvantitativni sastav fitoplanktona

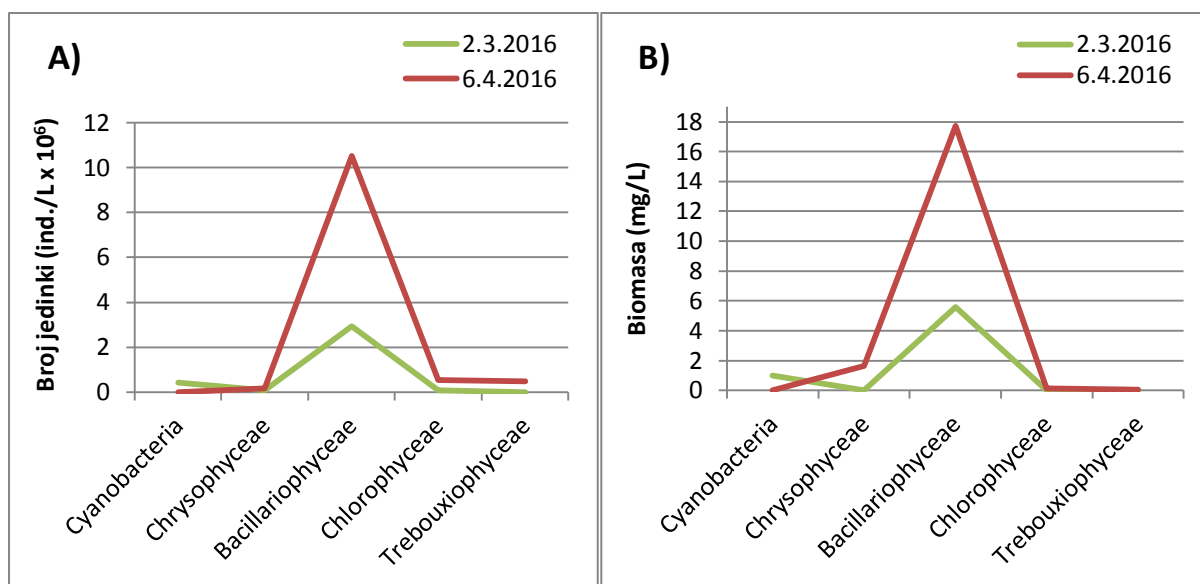
Kvalitativnom analizom fitoplanktona rijeke Drave pokraj Osijeka utvrđene su velike razlike u vrijednostima broja jedinki i biomase fitoplanktona u istraživanim mjesecima. Srednja vrijednost broja jedinki iznosila je  $7,63 \times 10^6$  ind./L, dok je srednja vrijednost biomase iznosila 13,1 mg/L. U uzorku fitoplanktona u ožujku utvrđen je ukupni broj jedinki od  $3,54 \times 10^6$  ind./L, a u travnju brojnost jedinki iznosila je  $11,71 \times 10^6$  ind./L što je trostruko povećanje broja jedinki u travnju u usporedbi sa vrijednostima u ožujku (Slika 22).



Slika 22. Promjena broja jedinki fitoplanktona  $\times 10^6$  ind./L rijeke Drave pokraj Osijeka u ožujku i travnju 2016. godine

Taksonomska skupina koja je svojim brojem vrsta najviše doprinijela ukupnom količinskom sastavu i to tijekom oba istraživana mjeseca bio je odjeljak Chrysophyta čija se brojnost kretala od  $3,03 \times 10^6$  ind./L u ožujku do  $10,70 \times 10^6$  ind./L u travnju. Odnosno, njemu pripadajući razred Bacillariophyceae (od  $2,94 \times 10^6$  ind./L do  $10,52 \times 10^6$  ind./L). U skladu sa rezultatima kvalitativne analize, uočen je pad brojnosti određenih vrsta iz odjeljka Cyanobacteria te porast broja vrsta razreda Chlorophyceae u mjesecu travnju. Stoga, nije utvrđeno tkz. „cvjetanje“ cijanobakterija. Razred Chrysophyceae najmanje je pridonio ukupnom broju vrsta (Slika 23A). Taksonomske skupine Euglenophyta, Cryptophyta, Dynophyta te Zygnematophyceae nisu zabilježene kvantitativnom analizom.





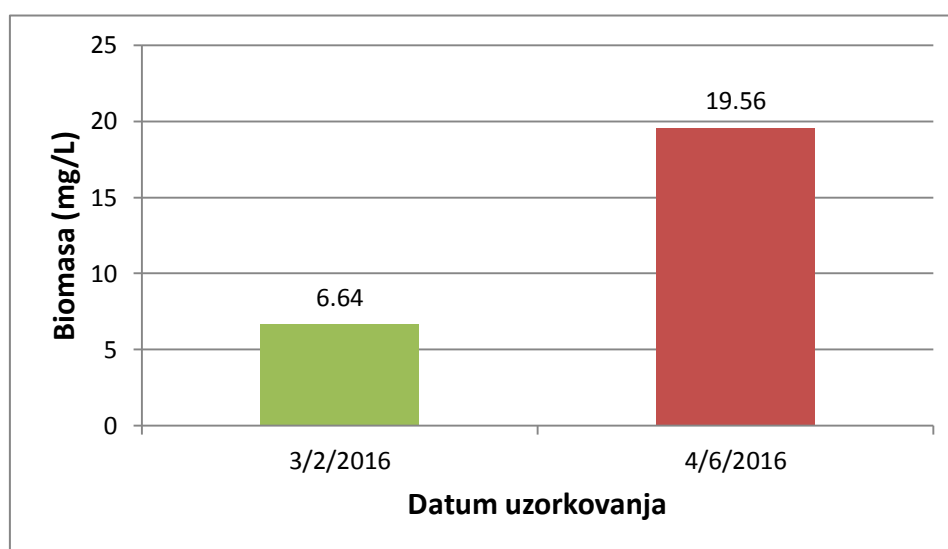
Slika 23. Broj jedinki fitoplanktona  $\times 10^6$  ind./L (A) i biomasa (mg/L) (B) određenih sistematskih skupina rijeke Drave pokraj Osijeka u ožujku i travnju 2016. godine

Neke od vrsta čija je brojnost utvrđena u oba mjeseca istraživanog razdoblja bile su (Tablica 3): *Chrysococcus rufescens* ( $0,09 \times 10^6$  ind./L u ožujku), većina vrsta razreda Bacillariophyceae kao što su *Asterionella formosa*, *Cyclotella meneghiniana*, *Diatoma vulgare*, *Fragilaria capucina*, *Tabellaria fenestrata*, *Stephanodiscus hantzschii*, *Synedra ulna* itd. Sve vrste alga kremenjašica i zelenih alga bile su prisutne u nešto većoj brojnosti tijekom travnja. Rod *Monoraphidium* također je bio prisutan i u ožujku i u travnju, zatim vrste *Crucigenia quadrata* te *Koliella longiseta*.

Vrste koje su bile zastupljene sa najvećim brojem jedinki po litri vode bile su *Cyclotella meneghiniana* (ožujak  $0,53 \times 10^6$  ind./L, travanj  $2,41 \times 10^6$  ind./L) te *Stephanodiscus hantzschii* (ukupno u ožujku  $1,99 \times 10^6$  ind./L te u travnju  $5,64 \times 10^6$  ind./L). Dobru zastupljenost pokazale su i vrste *Aphanizomenon gracile*  $0,42 \times 10^6$  ind./L u ožujku, a tijekom travnja to su bile: *Asterionella formosa* ( $0,36 \times 10^6$  ind./L), *Nitzschia acicularis* ( $0,76 \times 10^6$  ind./L), *Fragilaria acus* ( $0,45 \times 10^6$  ind./L), *Tabellaria fenestrata* ( $0,38 \times 10^6$  ind./L), *Monoraphidium contortum* ( $0,45 \times 10^6$  ind./L) i *Kolliella longiseta* ( $0,40 \times 10^6$  ind./L).

Najmanji broj jedinki po litri vode određen je u ožujku za vrste kao što su: *Aulacoseira granulata* var. *angustissima*, većina vrsta roda *Navicula*, *Crucigenia quadrata* i *Koliella longiseta* sve u brojnosti od  $0,01 \times 10^6$  ind./L.

Ukupna biomasa fitoplanktona bila je u značajnoj korelaciji s brojem jedinki fitoplanktona i koncentracijom klorofila-a. U uzorku fitoplanktona u ožujku ukupna biomasa iznosila je 6,64 mg/L, dok je u travnju zabilježena vrijednost biomase od 19, 56 mg/L. Ukupna se biomasa povećala za oko tri puta tijekom rano proljetnog razdoblja u odnosu na kasno zimski period kako je prikazano na slici 24. Stoga, promjena ukupne biomase bila je u skladu sa promjenama ukupnog količinskog sastava (broja vrsta) tijekom istraživnog razdoblja. Taksonomska skupina koja je brojem vrsta dominirala u ukupnom količinskom sastavu najviše je doprinijela i ukupnoj biomasi (razred Bacillariophyceae) (Slika 23B). Također, u kvantitativnom sastavu fitoplanktona rijeke Drave ukupno je utvrđeno 38 svojta od kojih je 6 bilo zastupljeno s više od 5% ukupne biomase fitoplanktona (Slika 25).



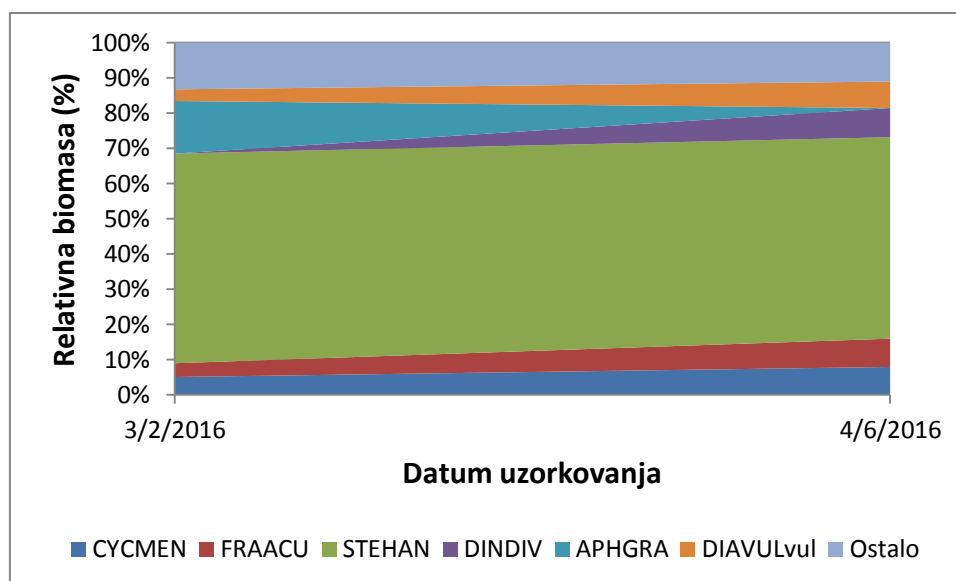
Slika 24. Promjene biomase fitoplanktona (mg/L) rijeke Drave pokraj Osijeka u ožujku i travnju 2016. godine

#### 4.4. Funkcionalne skupine fitoplanktona

Sveukupne svojte određene kvantitativnom analizom svrstane su u 12 sljedećih funkcionalnih skupina: **C, D, E, H1, J, MP, N, P, T<sub>B</sub>, X1, X2 i X3** (Slika 26, Tablica 4). Među njima je šest funkcionalnih skupina bilo zastupljeno s više od 5% ukupne biomase u ožujku i/ili travnju: **C, D, E, H1, MP i P** (Slika 27).

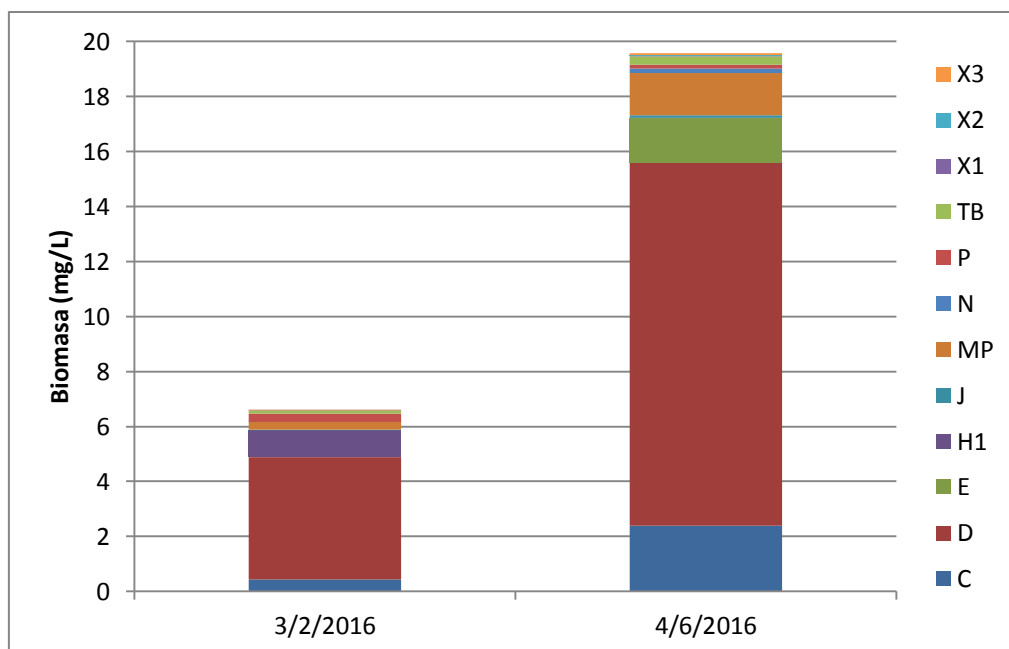
U ožujku je utvrđeno ukupno deset funkcionalnih skupina od kojih su četiri grupe (C, D, H1 i P) najviše doprinijele ukupnoj biomasi fitoplanktona. Dvije funkcionalne skupine bile su dobro razvijene sa sličnim vrijednostima biomase: C (0,43 mg/L; 6,48%) i P (0,30 mg/L; 4,52%), dok je MP grupa bila subdominantna (0,27 mg/L; 4,11%). Vrlo dobro je bila razvijena H1 grupa koja je činila gotovo 15% ukupne biomase (0,99mg/L; 14,91%), odnosno njoj pripadajuća vrsta *Aphanizomenon gracile*. U travnju je došlo do pojave E i X2 skupine uz izostanak H1 grupe što je činilo sveukupno jedanaest zabilježenih funkcionalnih grupa. I u travnju i u ožujku najdominantnija je bila D skupina koja je u oba razdoblja činila nešto više od 67% ukupne biomase. Uz skupinu D, na povećanje ukupne biomase u travnju utjecale su i skupine C (2,40 mg/L; 12,27%), E (1,62 mg/L; 8,28%) te MP skupina (1,53 mg/L; 7,82%) koja je iz subdominantne prešla u dominantnu skupinu.

Kasno zimski, odnosno ranoproljetni razvoj fitoplanktona započeo je dominacijom alga kremejašica (Bacillariophyceae) koje su u ožujku činile preko 84%, a u travnju preko 90% ukupne biomase. Iz navedenog razreda vrsta *Stephanodiscus hantzschii* skupine D je činila više od 50% ukupne biomase tijekom oba istraživana mjeseca. Od ostalih dijatomeja jedino je *Cyclotella meneghiniana* (C skupina) bila predstavljena sa više od 5% biomase i u ožujku i u travnju. Druge vrste koje su značajnije doprinijele ukupnoj biomasi u travnju bile su: *Asterionella formosa* (4,29%) iz skupine C; iz skupine D *Fragilaria acus* (8,03%) te *Diatoma vulgare var.vulgare* (7,52%) skupine MP. Malobrojne zelene alge nisu značajno pridonjele ukupnoj biomasi, činile su tek 1% u ukupnoj biomasi tijekom travnja. U istom mjesecu *Dinobryon divergens* (skupina E) razreda Chrysophyceae je imao dobru zastupljenost od 8,28%.

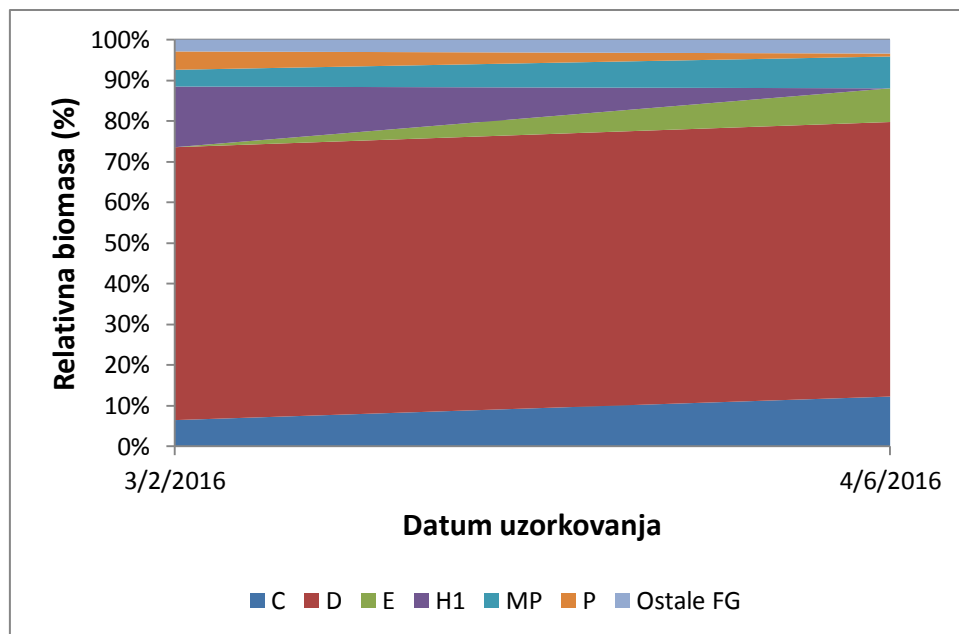


Slika 25. Postotna zastupljenost dominantnih vrsta koje su prisutne s više od 5% u ukupnoj biomasi fitoplanktona u ožujku i travnju 2016. godine

Kodovi vrsta: CYCMEN – *Cyclotella meneghiniana* Kützing; FRAACU – *Fragilaria acus* (Kützing) Lange-Bertalot; STEHAN- *Stephanodiscus hantzschii* Grunow; DINDIV - *Dinobryon divergens* O.E.Imhof; APHGRA - *Aphanizomenon gracile* (Lemmerman) Lemmerman; DIAVULvul - *Diatoma vulgare var. vulgare* Bory de Saint-Vincent



Slika 26. Promjene ukupne biomase fitoplanktona (mg/L) prema funkcionalnim skupinama (FG) u rijeci Dravi pokraj Osijeka u ožujku i travnju 2016. godine



Slika 27. Postotna zastupljenost dominantnih funkcionalnih skupina (FG) koje su prisutne sa više od 5% u ukupnoj biomasi fitoplanktona u ožujku i travnju 2016. godine

Tablica 3. Kvantitativni sastav fitoplanktona rijek Drave pokraj Osijeka u ožujku i travnju 2016.godine

Godina	2016.				
VRSTA	kod vrste	broj jedinki (ind./L x 10 <sup>6</sup> )		biomasa fitoplanktona (mg/L)	
		2. ožujak	6. travanj	2. ožujak	6. travanj
<b>CYANOBACTERIA</b>					
<i>Aphanizomenon gracile</i> (Lemmerman) Lemmerman	APHGRA	0,42	-	0,99	-
<b>Ukupno:</b>		0,42	-	0,99	-
<b>CHRYSTOPHYTA</b>					
<b>Chrysophyceae</b>					
<i>Chrysococcus rufescens</i> G.A.Kelbs	CHRRUP	0,09	0,02	0,02	0,01
<i>Dinobryon divergens</i> O.E.Imhof	DINDIV	-	0,16	-	1,62
<b>Ukupno:</b>		0,09	0,18	0,02	1,63
<b>Bacillariophyceae</b>					
<i>Aulacoseira granulata</i> var. <i>angustissima</i> (O. Müller) Simonsen	AULGRAang	0,01	-	0,02	-
<i>Asterionella formosa</i> Hassall	ASTFOR	0,03	0,36	0,08	0,84
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg	COCPLA	0,01	-	0,01	-
<i>Cyclotella distinguenda</i> Hustedt	CYCDIS	0,01	-	0,01	-
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing	CYCMEN	0,53	2,41	0,34	1,56
<i>Cymbella ventricosa</i> (C.Agardh) C.Agardh	CYMVEN	0,01	-	0,01	-
<i>Diatoma vulgare</i> var. <i>vulgare</i> Bory de Saint-Vincent	DIAVULvul	0,01	0,04	0,22	1,47
<i>Fragilaria acus</i> (Kützing) Lange-Bertalot	FRAACU	0,07	0,45	0,26	1,57
<i>Fragilaria capucina</i> Desmazières	FRACAP	0,05	0,02	0,28	0,13
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton	FRACRO	-	0,04	-	0,01
<i>Gomphonema olivaceum</i> (Hornemann) Brébisson	GOMOLI	0,01	0,09	0,002	0,02

<i>Gyrosigma acuminatum</i> (Kützing) Rabenhorst	GYRACU	0,01	-	0,02	-
<i>Hannaea arcus</i> (Ehrenberg) R.M.Patrick	HANARC	0,01	-	0,004	-
<i>Navicula capitata</i> var. <i>capitata</i> Ehrenberg	NAVCAPcap	-	0,02	-	0,01
<i>Navicula cryptotenella</i> Lange-Bertalot	NAVCRY	0,01	-	0,003	-
<i>Navicula elginensis</i> (W.Gregory) Ralfs	NAVELG	0,01	-	0,01	-
<i>Navicula gracilis</i> Ehrenberg	NAVGRA	0,01	-	0,002	-
<i>Navicula lanceolata</i> Ehrenberg	NAVLAN	0,04	0,16	0,08	0,29
<i>Navicula rhynchocephala</i> Kützing	NAVRHY	0,01	-	0,01	-
<i>Nitzschia acicularis</i> (Kützing) W.Smith	NITACI	0,04	0,76	0,01	0,18
<i>Nitzschia palea</i> (Kützing) W.Smith	NITPAL	0,04	0,07	0,004	0,01
<i>Rhoicosphenia curvata</i> (Kützing) Grunow	RHOCUR	0,01	0,02	0,003	0,01
<i>Stephanodiscus hantzschii</i> Grunow *	STEHAN	0,83	2,38	1,04	2,99
<i>Stephanodiscus hantzschii</i> Grunow	STEHAN	1,16	3,26	2,91	8,19
<i>Surirella brebissonii</i> Krammer & Lange-Bertalot	SURBRE	0,01	0,02	0,02	0,05
<i>Synedra ulna</i> (Nitzsch) Ehrenberg	SYNULN	0,02	0,02	0,23	0,26
<i>Tabellaria fenestrata</i> (Lyngbye) Kützing	TABFEN	0,01	0,38	0,003	0,15
Ukupno:		2,94	10,52	5,59	17,74
<b>Ukupno:</b>		3,03	10,70	5,62	19,37
<b>CHLOROPHYTA</b>					
<b>Chlorophyceae</b>					
<i>Actinastrum hantzschii</i> Lagerheim	ACTHAN	-	0,02	-	0,02
<i>Chlamydomonas</i> sp.	CHLSP	-	0,02	-	0,02
<i>Monoraphidium arcuatum</i> (Korshikov) Hindák	MONARC	0,02	0,02	0,002	0,002
<i>Monoraphidium contortum</i> (Thuret) Komárková-Legnerová	MONCON	0,04	0,45	0,001	0,02
<i>Scenedesmus acuminatus</i> (Lagerheim) Chodat	SCEACU	-	0,02	-	0,08
<i>Scenedesmus quadricauda</i> (Turpin) Brébisson	SCEQUA	0,02	-	0,02	-

Ukupno:		0,08	0,54	0,02	0,14
<b>Trebouxiophyceae</b>					
<i>Crucigenia quadrata</i> Morren	CRUQUA	0,01	0,04	0,001	0,01
<i>Koliella longiseta</i> (Vischer) Hindák	KOLLON	0,01	0,40	0,001	0,06
<i>Lagerheimia genevensis</i> (Chodat) Chodat	LAGGEN	-	0,02	-	0,002
Ukupno:		0,01	0,47	0	0,07
<b>Ukupno:</b>		0,09	1,01	0,02	0,2
<b>UKUPNO:</b>		3,54	11,71	6,64	19,56



Tablica 4. Funkcionalne skupine fitoplanktona rijeke Drave pokraj Osijeka u ožujku i travnju u 2016. godine

Godina	2016.		
Funkcionalna grupa (FG)	Rod/ vrsta svrstana u FG	% biomase fitoplanktona	
		2.ožujak	6.travanj
<b>C</b>	<i>Asterionella formosa</i> Hassall	1,20	4,29
	<i>Cyclotella distinguenda</i> Hustedt	0,15	-
	<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing	5,12	7,98
	Ukupno:	6,48	12,27
<b>D</b>	<i>Fragilaria acus</i> (Kützing) Lange-Bertalot	3,92	8,03
	<i>Nitzschia acicularis</i> (Kützing) W.Smith	0,15	0,92
	<i>Nitzschia palea</i> (Kützing) W.Smith	0,06	0,05
	<i>Stephanodiscus hantzschii</i> Grunow	59,49	57,16
	<i>Synedra ulna</i> (Nitzsch) Ehrenberg	3,46	1,33
	Ukupno:	67,08	67,48
<b>E</b>	<i>Dinobryon divergens</i> O.E.Imhof	-	8,28
<b>H1</b>	<i>Aphanizomenon gracile</i> (Lemmerman) Lemmerman	14,91	-
<b>J</b>	<i>Actinastrum hantzschii</i> Lagerheim	-	0,10
	<i>Crucigenia quadrata</i> Morren	0,02	0,05
	<i>Lagerheimia genevensis</i> (Chodat) Chodat	-	0,01
	<i>Scenedesmus acuminatus</i> (Lagerheim) Chodat	-	0,41
	<i>Scenedesmus quadricauda</i> (Turpin) Brébisson	0,30	-
	Ukupno:	0,32	0,57
<b>MP</b>	<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg	0,15	-
	<i>Diatoma vulgare</i> var. <i>vulgare</i> Bory de Saint-Vincent	3,31	7,52
	<i>Gyrosigma acuminatum</i> (Kützing) Rabenhorst	0,30	-

	<i>Rhoicosphenia curvata</i> (Kützing) Grunow	0,05	0,05
	<i>Surirella brebissonii</i> Krammer & Lange-Bertalot	0,30	0,26
	Ukupno:	4,11	7,82
<b>N</b>	<i>Tabellaria fenestrata</i> (Lyngbye) Kützing	0,05	0,77
<b>P</b>	<i>Aulacoseira granulata</i> var. <i>angustissima</i> (O.Müller) Simonsen	0,30	-
	<i>Fragilaria capucina</i> Desmazières	4,22	0,66
	<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton	-	0,05
	Ukupno:	4,52	0,72
<b>T<sub>B</sub></b>	<i>Cymbella ventricosa</i> (C.Agardh) C.Agardh	0,15	-
	<i>Gomphonema olivaceum</i> (Hornemann) Brébisson	0,03	0,10
	<i>Hannaea arcus</i> (Ehrenberg) R.M.Patrick	0,06	-
	<i>Navicula capitata</i> var. <i>capitata</i> Ehrenberg	-	0,05
	<i>Navicula cryptotenella</i> Lange-Bertalot	0,05	-
	<i>Navicula gracilis</i> Ehrenberg	0,03	-
	<i>Navicula elginensis</i> (W.Gregory) Ralfs	0,15	-
	<i>Navicula lanceolata</i> Ehrenberg	1,20	1,48
	<i>Navicula rhynchocephala</i> Kützing	0,15	-
	Ukupno:	1,82	1,64
<b>X1</b>	<i>Monoraphidium arcuatum</i> (Korshikov) Hindák	0,03	0,01
	<i>Monoraphidium contortum</i> (Thuret) Komárková-Legnerová	0,02	0,10
	Ukupno:	0,05	0,11
<b>X2</b>	<i>Chlamydomonas</i> sp.	-	0,10
<b>X3</b>	<i>Chrysococcus ruphescens</i> G.A.Kelbs	0,30	0,05
	<i>Koliella longiseta</i> (Vischer) Hindák	0,02	0,31
	Ukupno:	0,32	0,36

## 5. RASPRAVA

Većina rijeka umjerenih područja koje pripadaju kategoriji četvrtog ili višeg reda imaju karakteristične i uglavnom dobro razvijene fitoplanktonske zajednice koje karakteriziraju redovne i predvidljive promjene u abundanciji i sastavu (Reynolds i Descy, 1996). Stanković i sur. (2012 i 2013) su isto tako utvrdili u svojim istraživanjima da su hrvatske nizinske rijeke pogodno stanište u kojima postoji dobro razvijena fitoplanktonska zajednica. Kako se sve predhodno navedene činjenice odnose i na istraživanu dionicu, opravdani su i razumljivi rezultati dobiveni florističkom analizom fitoplanktona koji potvrđuju da je rijeka Drava pored Osijeka u ispitivanom razdoblju raznolika vrstama.

Generalno prihvaćena činjenica o različitom podrijetlu riječnog fitoplanktona (Reynolds, 1988) može se prijemijeni i na alge predmetne rijeke. Pravi planktonski organizmi rijeke Drave svoje indirektno podrijetlo duguju vodama uz rijeku (močvare i poplavna područja) te manjim sporotekućim pritokama. Kako je Drava velika nizinska rijeka u kojoj je vrijeme zadržavanja vode dovoljno dugo, dolazi i do razvoja neposrednog, pravog potamoplanktona u ustajalim dijelovima same tekućice i sporo tekućim rukavcima (Popović, 1985). Pronađeni predstavnici pravog riječnog fitoplanktona dravske vode su: planktonske alge kremenjašice reda Centrales, centrice (rodovi *Aulacoseira*, *Cyclotella*, *Stephanodiscus*) i Pennales (rodovi *Asterionella*, *Diatoma*, *Fragilaria*, *Nitzschia*), modrozeleni alge (rodovi *Aphanizomenon*, *Microcystis*, *Pseudanabaena*) te klorokokalne zelene alge (rodovi *Actinastrum*, *Scenedesmus* i *Pediastrum*). Navedene su takse u skladu sa popisom najčešćih vrsta planktonskih alga velikih rijeka (Reynolds, 1994; Rojo i sur., 1994). Osim pravih planktonskih, utvrđene su vrste koje imaju karakter bentonskih biljaka kao što su: penate (rodovi *Gyrosigma*, *Navicula*, *Surirella*), od cijanobakterija rod *Oscillatoria* te rod *Stigeoclonium* zelenih alga. Postoji mogućnost da je prisutnost ovih vrsta, koje inače imaju karakter obraštajnih ili bentoskih zajednica, u planktonu rezultat turbidnosti toka, jakog i nepravilnog strujanja vode rijeke Drave koje ih otkida i odnosi sa dna ili obraštaja.

Biološka raznolikost fitoplanktona bila je gotovo ujednačena u ožujku i travnju kako se nisu utvrdile značajne razlike u vrsnome sastavu. Kvalitativnom analizom fitoplanktona utvrđeno je 100 svojta u ožujku, njihov broj u travnju bio je nešto veći i iznosio je 122, što sveukupno čini 142 različitih determiniranih svojta potamoplanktona tijekom ranoproljetnog razdoblja. U ukupnom kvalitativnom sastavu, najbrojnije su bili predstavljeni odjeljci Chrysophyta (102

svojta od čega 97 Bacillariophyceae) i Chlorophyta (30 svojta). Velikom biološkom raznolikosti posebno se istaknuo rod *Navicula* što potvrđuje činjenica o pronađenih 16 umjereno do povremeno prisutnih vrsta toga roda. Kiss i sur. (2012) primjerice ističu da bioraznolikost vrsta centrica raste sa povećanjem veličine rijeke (reda rijeke) zbog velikog broja pritoka koje svojim florinim sastavom obogaćuju matičnu rijeku. Nadalje, sličan kvalitativan sastav fitoplanktona utvrdio je Popović (1985) 1983. godine kada je u ožujku zabilježio 96, a u travnju 117 vrsta alga. Također su u ukupnom kvalitativnom sastavu fitoplanktona ova dva ranoproljetna mjeseca dominantne skupine bile Chrysophyta sa 64 vrsta (od čega 58 dijatomeja) i Chlorophyta (39 vrsta). Stoga, osim nešto veće raznolikosti alga kremenjašica, vrsni se sastav rijeke Drave za navedeno razdoblje i nije značajno mijenjao od sredine 80-tih godina do danas.

Uzorak fitoplanktona u ožujku odlikovao se malim brojem jedinki od  $3,54 \times 10^6$  ind./L, da bi u travnju došlo do trostrukog povećanja brojnosti u iznosu od  $11,71 \times 10^6$  ind./L. Brojnosti vrsta u travnju, ali i ožujku, primarno je doprinijela dobra razvijenosti razreda Bacillariophyceae ( $10,52 \times 10^6$  ind./L) kao najvažnijeg predstavnika fitobentosa koji svojim biodiverzitetom nadmašuje sve ostale taksonomske skupine (Ní Chatháin i Harrington, 2008). Vrste dijatomeja koje su se pokazale najbolje razvijenima i tako pridonijele ukupnoj brojnosti bile su *Cyclotella meneghiniana* ( $2,41 \times 10^6$  ind./L) te *Stephanodiscus hantzschii* ( $5,64 \times 10^6$  ind./L). Prisutnost centrica karakteristika je europskih jezera naročito u proljeće, a također su dominantne i brojne u velikim, sporotekućim rijekama u razdoblju od ranoga proljeća do kasne jeseni. Rodovi *Aulacoseira*, *Stephanodiscus* i *Cyclotella* razvijaju se čak i tijekom zime (Kiss i Genkal, 1993). *Stephanodiscus hantzschii* i *Cyclotella meneghiniana* smatraju se pravim potamoplanktonskim vrstama zbog sposobnosti preživljavanja i razmnožavanja u sporotekućim rijekama (Kiss i sur, 2012) zbog čega je *S.hantzschii* poznat i kao tipična te stalna dunavska vrsta (Schmidt, 1994). Dobro su se zastupljenima pokazale i vrste *Asterionella formosa*, *Nitzschia acicularis*, *Fragilaria acus* te *Tabellaria fenestrata*. Većina vrsta algi kremenjašica pojavljuje se sezonski, tako su primjerice vrste roda *Fragilaria* osobito brojne u proljeće i jesen, dok svoj proljetni maksimum pokazuje i rod *Diatoma* (Hoffmann, 1994).

Biomasa fitoplanktona mijenjala se je u skladu sa promjenom brojnosti, od 6,64 mg/L u ožujku do 19,56 mg/L u travnju. Kao dominantna skupina ovog straživanja, Bacillariophyceae su u travnju činili preko 90% ukupne biomase, dok malobrojne zelene alge nisu značajno

pridonjele ukupnoj biomasi (1%). Važna karakteristika po kojemu se velike rijeke razlikuju od manjih tekućice je činjenica da se biomasa fitoplanktona velikih rijeka nalazi u obrnuto proporcionalnom odnosu sa protokom vode (Schmidt, 1994). Stoga je moguće da je nizak vodostaj uzrokovao veću biomase u travnju, nego u predhodnom mjesecu. Usporedbe radi, Stanković i sur. (2012) su u istraživanju fitoplanktona rijeke Drave, na četiri postaje (Botovo, Terezino Polje, Donji Miholjac i ušće Drave), odredili manju biomasu fitoplanktona koja se u travnju 2010. godine mijenjala u okvirnim granicama od 1 mg/L do 3 mg/L. Gotovo istovjetno ovdje predstavljenim rezultatima, najbrojnije su dijatomeje u razdoblju od travnja do rujna činile 6,4-93,7% ukupne biomase, a razred Chlorophyceae 1-89,4%. Isto tako, dugogodišnja istraživanja mikroflore rijeke Dunav utvrdila su da su zelene alge reda Chlorococcales i dijatomeje reda Centrales najrelevantniji elementi potamoplanktona (Kiss, 1997). U istraživanju fitoplanktona predmentne rijeke Drave zelene klorokokalne alge bile su slabije razvijene jer svoj maksimalan razvoj postižu tek tijekom ljetnih mjeseci (Schmidt, 1994), dok su dijatomeje dominantna skupina tijekom proljetnog razdoblja (Jones i Barrington, 1985). Kako ljetna dominacija zelenih alga nije univerzalna pojava, tako dijatomeje mogu prevladavati tijekom čitavog razdoblja rasta u dubokim, turbidnim nizvodnim dijelovima velikih rijeka. Upravo je to karakteristika malih jednostaničnih centrica (*Cyclotella*, *Stephanodiscus*, *Thalassiosira*) ili manje silicificirani forma (npr. *Skeletonema potamos*) (Reynolds i Descy, 1996).

Kao i kopnene biljke, mikroskopske se alge udružuju u fitoplanktonske asocijacije (funkcionalne grupe) prema sličnim morfološkim, fiziološkim i ekološkim karakteristikama (Reynolds i sur., 2002). Analizom kvantitativnog sastava fitoplanktona rijeke Drave u ranoproljetnom razdoblju ukupno je utvrđeno 12 funkcionalnih skupina od čega su 6 grupa bile zastupljene sa više od 5% ukupne biomase: **C**, **D**, **E**, **H1**, **MP** i **P**. Uvjeti u ožujku 2016. godine pogodovali su razvoju ukupno 10 grupa, od kojih su četiri bile dominantne: C, D, H1 i P. Alge **H1** funkcionalne skupine javljaju se u eutrofnim, dubokim i stratificiranim, ali isto tako i u plitkim jezerima sa malom količinom dušika. Tipični su predstavnici dinitrogen-fiksirajuće vrste reda Nostocales, tolerantne na niske koncentracije dušika i ugljika, osjetljive na miješanje vodenog stupca, malu količinu svjetlosti te nisku koncentraciju fosfora (Reynolds i sur., 2002). U istraživanom razdoblju, H1 grupa bila je predstavljena vrstom *Aphanizomenon gracile* koja je činila gotovo 15% ukupne biomase. Rod *Anabaena* također je poznati predstavnik ove funkcionalne skupine, ali nije utvrđen tijekom istraživanja. Iako rodovi *Anabaena* i *Aphanizomenon* imaju jednake ekološke strategije, pripadaju S-stratezima

(Reynolds, 1988a), moguće da je izostanak ovog roda vezan uz kvalitativne razlike u fiziologiji ovih rodova, kao što su tolerancija na stres i unos hranjivih nutrijenata (Yamamoto, 2009). Općenito, cijanobakterije su bile slabo razvijene te je određeno ukupno 4 vrsta, od kojih je samo predhodno navedena vrsta imala manji značaj u ukupnoj biomasi. „Cvjetanje“ cijanobakterija uglavnom ne predstavlja ozbiljnu opasnost za velike rijeke umjerenog područja jer je ovaj fenomen primarno određen fizikalnim čimbenicima, a tek onda kemijskim čimbenicima (količinom i omjerom hranjivih tvari) (Reynolds i Petersen, 2000). Stabilni hidrološki uvjeti sporog protoka vode ( $<0,05$  m/s), praćeni temperaturnom stratifikacijom, glavni su preduvjet razvoja modrozelenih alga u lotičkim ekosustavima (Bormans i sur, 1997). Osim u rijekama sa dugim vremenom zadržavanja vode, ova se pojava javlja u sustavima povezanim sa jezerima (Wehr i Descy, 1998), ali i uslijed antropogeno uzrokovane eutrofikacije zbog čega je ova skupina predložena kao element za ocjenu kvalitete vode (Loza i sur, 2013).

Vrste funkcionalne grupe **P** (*Aulacoseira granulata* var. *angustissima*, *Fragilaria capucina*, *Fragilaria crotonensis*) nalazimo u trajno ili djelomično izmješanim slojevima vode na 2-3 m dubine; u plitkim jezerima navedene ili ponekad veće dubine, kao i u epilimnionu stratificiranih jezera koja zadovoljavaju kriterij miješanja vode te visoki stupanj trofije. Tolerantne su na smanjenu količinu svjetlosti i nedostatak ugljika, a osjetljive na nedostatak silicija i temperaturnu stratifikaciju (Reynolds i sur., 2002). Kao R-strateg, velika centrica *A. granulata* lako se prilagođava turbulentnim staništima (Wang i sur., 2011), a maksimalnu brojnost postiže za vrijeme opadanja razine vode, nakon poplava (Carvajal-Chitty, 1993).

U travnju je definirano ukupno 11 funkcionalnih grupa, odnosno četiri dominantne grupe: C, D, E, MP. Predstavnici nešto slabije zastupljene (oko 8%) **MP** funkcionalne skupine nastanjuju povremeno izmješana, turbidna, plitka jezera zamućena anorganskim tvarima. Ova skupina uključuje sve meroplanktonske autotrofne organizme, većinom bentonske dijatomeje, slučajno prisutne u planktonskim uzorcima. Karakteriziraju je metafitske, perifitske i epilitske vrste koje lako bivaju otplovljene u plankton (Padisák i sur., 2009). Pronađene vrste koje pripadaju navedenoj grupi su: *Cocconeis placentula*, *Diatoma vulgare* var. *vulgare*, *Gyrosigma acuminatum*, *Rhoicosphenia curvata*, *Surirella brebissonii*. Gotovo jednako zastupljena skupina **E** jedinstvena je za mala, plitka, oligotrofna jezera ili heterotrofne ribnjake. Predstavljena je vrstom *Dinobryon divergens* tolerantnom na malu koncentraciju nutrijenata, a osjetljivom na nedostatak CO<sub>2</sub>. Razvoj ove vrste uobičajen je u ranoproljetnom

razdoblju u jezerima (npr. Sakadaško jezero) u uvjetima visoke koncentracije ukupnoga fosfora (Stević i sur., 2005, Mihaljević i sur., 2004).

Za vrijeme niskog protoka vode fitoplankton velikih rijeka sličan je onome u plitkim jezerima (Reynolds i sur., 1994) uz prevladavanje skupina J, X1, C i D (Várbíró i sur., 2007). Također, Stanković (2013) navodi da se nizvodno u rijeci Dravi udio bentičkih dijatomeja smanjuje, a povećava udio centrica i drugih planktonskih dijatomeja objedinjenih u funkcionalnim grupama C i D, što je u skladu i sa ovdje prikazanim rezultatima. Mala do srednje velika eutrofna jezera sa izmješanim stupcem vode stanište su skupine **C** (*Asterionella formosa*, *Cyclotella distinguenda*, *Cyclotella meneghiniana*), tolerantne na slabo osvjjetljenje i nedostatak ugljika, a osjetljive na nedostatak silicija te temperaturnu stratifikaciju. Kvalitativnom analizom utvrđena je i vrsta *Stephanodiscus neoastrea* koja je indikator sustava bogatih kalcijem i fosforom, a kodominira sa rodovima *Asterionella* ili *Aulacoseira*. Rodovi *Asterionella*, *Aulacoseira* i *Cyclotella* koegzistiraju i u „mekim“ vodama (Reynolds i sur., 2002). Funkcionalna skupina **D** bila je najzastupljenija u oba mjeseca, a karakteristična je za plitke, turbidne vode bogate nutrijentima, uključujući rijeke. Alge kremenjačice ove skupine brzorastuće su vrste, malih dimenzija ( $V < 10^3 \mu\text{m}^3$ ), tolerantne su na disturbancije nastale „ispiranjem“ (eng. *fushing*), a osjetljive na nedostatak hranjivih tvari. Pronađene vrste koje pripadaju navedenoj grupi su: *Fragilaria acus*, *Nitzschia acicularis*, *Nitzschia palea*, *Stephanodiscus hantzschii* i *Synedra ulna*.

Kako lotički ekosustavi imaju ekstremno dinamičan hidrološki režim, što kao posljedicu ima velike fluktuacije biotičkih i abiotičkih čimbenika duž riječnoga toka (Vannote, 1980), zajednice potamoplanktona uglavnom su predstavljene vrstama koje mogu odoljeti selektivnim pritiscima glavnoga toka rijeka (Devercelli, 2006). Sposobnost iskorištavanja svjetlosti različitog intenziteta u turbulentnim, turbidnim uvjetima te njezina efikasna pretvorba u novu biomasu razlozi su dominacije dijatomeja redova Centrales i Pennales funkcionalnih grupa C i D. Morfološke adaptacije koje su glavni preduvjet preživaljavanja navedenih rodova u rijekama su: veliki omjer površine i volumena omogućen malom veličinom stanice (kod roda *Cyclotella*) ili stanice raspoređene u jednu ravninu (kod roda *Navicula*), a predstavljaju značajnu prednost u smislu metabolizma, primanja svjetlosti, bržeg razmnožavanja te lakšeg prijenosa riječnim strujama (Reynolds i Descy, 1996). Velika stopa rasta te efikasno iskorištavanje svjetlosti opravdavaju dominaciju vrste *S. hantzschii*

(Sommer, 1988) skupine D koja je činila više od 50% ukupne biomase tijekom oba istraživana mjeseca.

Kako je abundancija i produkcija potamoplanktona primarno regulirana protokom vode te fizičkim svojstvima (Reynolds i Descy, 1996), u ovom su radu analizirana i neka hidrološka svojstva tekućica. Vodni režim rijeke Drave pokazuje fluvio-glacijalne karakteristike sa značajnim povećanjem protoka vode u kasno proljeće ili rano ljeto (u pravilu u svibnju i lipnju) što je posljedica otapanja leda i snijega na izvoru u Alpama. Fitoplankton je ove rijeke proučavan prije proljetnih poplava, za vrijeme niskoga vodostaja; od naglog i kratkotrajnog porast na početku ožujka do niskih, uglavnom negativnih vrijednosti vodostaja u travnju. Razina je vode glavni faktor koji utječe na biomasu, bioraznolikost, ujednačenost te stopu promjene potamoplanktonskih zajednica (García de Emiliani, 1997). Dosadašnja su istraživanja rijeka Drave i Dunava dokazala da niski protok vode smanjuje bioraznolikost fitoplanktona, ali povećava njegovu biomasu i brojnost (Stanković i sur., 2012, Mihaljević i sur., 2013), uz čestu dominaciju razreda Bacillariophyceae i Cyanophyceae.

Planktonske zajednice odgovaraju i na promjene fizikalno-kemijskih svojstava vode kao što su temperatura te dostupna količina svjetlosti i nutrijenata (Winter i sur., 2011), a njihova je gustoća ovisna i o ekološkom faktoru prozirnosti vode (Verasztó i sur., 2010). Za vrijeme niskoga vodostaja, smanjen je turbiditet vode (povećana prozirnost) zbog sedimentacije tvari uslijed slabijeg protoka (Verasztó i sur., 2010) što objašnjava utvrđenu negativnu korelaciju vodostaja i prozirnosti rijeke. Niske vrijednosti prozirnosti (od 80 cm) zabilježene su u ožujku uslijed nešto višeg vodostaja te suspendiranih čestica pijeska i mulja. Velika količina neživog suspendiranog materijala (tkz. tripton) i debljina eufotičke zone utječu na svjetlosni režim u rijeci (Reynolds i sur., 1994). Kako tijekom ovakvog niskoga vodostaja 70-90% vodenoga stupca pripada eufotičkoj zoni (Kiss, 1994) stvoreni su povoljni uvjeti za rast i razvoj planktona unatoč turbiditetu vode. Niske vrijednosti temperature vode (7,6-14,4° C) zabilježene su tijekom oba mjeseca, naročito u ožujku. Većina cijanobakterija dostiže maksimalnu stopu rasta pri temperaturama višim od 25° C (Robarts i Zohary, 1987), dok zelene alge i dijatomeje rastu i pri nižim temperaturama što je jedan od razloga njihove bolje razvijenosti. „Cjetanje“ cijanobakterija karakteristično je za vode umjerenih područja tijekom ljetnih mjeseci. Dominacija roda *Stephanodiscus*, čak i tijekom zime, preduvjet je tolerancije niskih temperatura te uvjeta veće koncentracije nutrijenata, male brzine i visoke prozirnosti vode (Kiss i Genkal, 1993). Općenito, tolerancija na „ispiranje“ čini ovog C-stratega osobito



pogodnim za lotičke sustave (Reynolds i sur., 2002). Prema „Uredbi o klasifikaciji voda“ (N.N. br. 77/98), zabilježene su visoke vrijednosti otopljenoga kisika ( $>7$  mg/L) i zasićenja vode kisikom (80-110%). Zbog bolje topljivosti plinova pri nižim temperaturama, utvrđena je negativna korelacija temperature i otopljenoga kisika. Dobra opskrbljenost vode kisikom rezultat je miješanja vodenog stupca te fotosintetske aktivnosti alga, unatoč prisutnom sedimentu koji smanjenjem prozirnosti, smanjuje fotosintetsku produkciju kisika te povećava površinu za bakterijske filmove koji respiracijom troše kisik (Nelson i sur., 1994). Prema srednjoj pH-vrijednosti od 8,32 za cijeli period istraživanja, dravsku vodu možemo definirati kao blago lužnato. Najstarija mjerenja fizičko-kemijskih svojstava potiču iz 1943. godine kada je Wojnarovich (1944) u donjem toku Drave utvrdio pH od 8,33; 1963. godine Meštrović i sur. (1979) vrijednosti 8,4 te Popović (1985) 1982-1983. godine pH oko 8,2 za Dravu pokraj Osijeka. Blago lužnata svojstva vode potvrdila su i recentna istraživanja Stankovića (2012, 2013). Dakle, pH vrijednosti se nisu značajno promijenile tijekom godina i slažu se sa rezultatima iznesenima u ovome radu. Poznato je da pH ovisi o brojnim čimbenicima; povećava se uslijed smanjenja temperature i pojačane fotosintetske aktivnosti, a smanjuje bakterijskom razgradnjom tvari i respiracijom (Bronmark i Hannsson, 2005).

Najjednostavnija i najčešće primjenjivana direktna metoda za određivanje primarne produkcije (biomase) fitoplanktona je koncentracija klorofila-a. Kako je ovo najbrojniji fotosintetski pigment te je prisutan u svim vrstama alga, razumljivo je da su za njega zabilježene najviše vrijednosti koncentracije u oba ispitivana mjeseca. Koncentracije klorofila-b i -c bile su manje jer klorofil-b nalazimo samo kod skupina Chlorophyta i Euglenophyta, dok je klorofil-c karakterističan za skupine Bacillariophyta, Dynophyta i Crysophyta (Rowan, 1989). Veće koncentracije klorofila-c, u usporedbi sa klorofilom-b, zabilježene su zbog puno bolje razvijenosti dominantne skupine Bacillariophyta za koju je navedeni pigment karakterističan. Koncentracija klorofila-a može se koristiti i kao indirektna metoda za ocjenu ekološkog stanja riječnog ekosustava. Prema Uredbi o standardu kakvoće voda (N.N. 73/13), na temelju graničnih vrijednosti Chl-a razlikuje su 4 kategorije stanja: vrlo dobro, dobro, umjereno, umjereno loše i loše. Uz prozornost, gustoću mrežnog fitoplanktona i ukupni fosfor, klorofil-a je pokazatelj stupnja trofije u kopnenim stajaćim vodama što podrazumjeva oligotrofiju, mezotrofiju, umjerenu eutrofiju, eutrofiju i hipertrofiju (N. N. br. 77/98).

Rijeke su uglavnom visoko produktivni sustavi s obzirom na nutrijente, imaju visoke koncentracije ukupnog fosfora, dušika i klorofila-a što ukazuju na oligotrofne ili hipertrofne sustave (Dodds, 2006). Iako nutrijenti imaju uglavnom puno manji i povremeni utjecaj na fitoplanktona od fizičkih čimbenika vezanih za protok vode (Salmaso i Zignin, 2010), njihov se utjecaj ne smije zanemariti. Pronađeni su rodovi *Amphora*, *Coccones*, *Navicula*, *Nitzschia*, *Gomphonema* i *Melosira*, tipični predstavnici otporni na organska onečišćenja, visoke koncentracije nutrijenata i fosfora te se stoga mogu smatrati bioindikatorima staništa izuzetno bogatima organskim tvarima, a ukazuju i na smanjenu kvalitetu vode (Kelly i Whitton, 1995). Dijatomeje odgovaraju brzo na promjene ekoloških varijabli stoga se uzimaju u obzir prilikom procjene općeg stanja kvalitete vode (Whitton i Rott, 1996). Visoke vrijednosti amonijaka, fosfata i nitrata u dravskoj vodi zabilježene su uslijed ispiranja sa okolnih poljoprivrednih površina i ostalih alohtonih onečišćenja (Popović, 1985). Kako organske i anorganske tvari utječu na živi svijet i kvalitetu vode potrebna su detaljnija istraživanja s ciljem praćenja i poboljšanja kakvoće vode i ekološkog stanja.

U zadnje vrijeme, značajan broj ekoloških istraživanja bavi se biološkim invazijama, a prisutnost alohtonih vrsta smatra se jednom od najvećih prijetnji integritetu ekosustava diljem svijeta (Mack i sur., 2000). Stoga je zanimljivo da je u kvalitativnom sastavu fitoplanktona predmetne tekućice utvrđena invazivna vrsta dijatomeja *Didymosphenia geminata* (Lyngbye) Schmidt (Prilog 1, Slika 9.12.). Prema procjeni relativne brojnosti, ocijenjena je kao povremeno prisutna vrsta rijeke Drave (kategorija 1) tijekom mjeseca ožujka i travnja. Navedena vrsta autohtona je za hladne, brze, nutrijentima siromašne planinske tekućice sjeverne Europe i Sjeverne Amerike, naročito za područja iznad sjeverne obratnice (Blanco i Ector, 2009). Povećanjem svojih ekoloških zahtjeva (npr. otpornost na sušu i UV-zračenje) te antropogenim utjecajem, vrsta se proširila na nutrijentima nešto bogatije i toplije vode, s preferencijom hidrološki reguliranih i oligotrofnih tekućica (Falasco i Bona, 2013). Zbog navedenih razloga, pojava ove invazivne vrste u dravskoj vodi nije začuđujuća. Osim u Dravi, *Didymosphenia geminata* također je zabilježena u vodama rijeke Dunava za vrijeme visokog vodostaja 2006. godine (Mihaljević i sur., 2010).

## 6. GLAVNI REZULTATI I ZAKLJUČAK

- Istraživanjima rijeke Drave pokraj Osijeka u ranoproljetnom razdoblju 2016. godine utvrđena je velika bioraznolikost fitoplanktona - 142 svojte od kojih je najveći broj pripadao odjeljcima: Chrysophyta i Chlorophyta, dok su odjeljci Cyanobacteria, Euglenophyta, Cryptophyta i Dinophyta bili slabije zastupljeni.
- Brojnost i biomasa fitoplanktona bili su gotovo trostruko veći u travnju u odnosu na ožujak čemu su vjerojatno doprinijeli stabilni hidrološki uvjeti i niski vodostaj rijeke Drave.
- Ukupno je utvrđeno 12 funkcionalnih grupa (FG), s dominacijom skupina: **C**, **D**, **E**, **H1**, **MP** i **P**. Većina FG bila je predstavljena dijatomejama koje su tijekom čitavog razdoblja istraživanja prevladavale raznolikošću, brojnošću i biomasom.
- Najbrojniji i biomasom najzastupljeniji bili su predstavnici skupina **C** (*Cyclotella meneghiniana*) i **D** (*Stephanodiscus hantzschii*); male, brzorastuće vrste tolerantne na slabo osvijetljenje, niske temperature i „ispiranje“.
- Koncept funkcionalnih skupina može pomoći u praćenju i boljem razumijevanju promjena fitoplanktona rijeke Drave.

## 7. METODIČKI DIO

### Priprema za nastavni sat

Ime i prezime nastavnika	Školska godina
Katarina Peharda	2016/2017.
Nastavna tema	
Carstvo protoktista	
Nastavna jedinica	Razred
Zeleni i svijetleći bičaći ( <i>Euglenophyta</i> i <i>Pyrrhophyta</i> )- 2 školska sata	2. razred gimnazije

Ključni pojmovi
zeleni i svijetleći bičaći; stigma, pelikula, epiteka i hipoteka; mitoza, izogamija i anizogamija, bioluminiscencija; bioindikatori, fitoplankton
Temeljni koncepti
jednostanični autotrofni protisti, stanična građa; nespolno i spolno razmnožavanje, zaštita voda, hranidbeni odnosi
Cilj
Stići znanja o biološkoj raznolikosti i sistematskoj podjeli carstva protoktista te osobinama (građi, razmnožavanju i rasprostranjenosti) zelenih i svijetlećih bičaća s ciljem razvoja svijesti o ekologiji i očuvanju voda.

Br. Ishoda	Ishod	RAZINA ISHODA	Zadatak/ primjer pitanja za provjeru znanja	RAZINA ZADATKA
1.	<b>Objasniti sistematsku podjelu carstva protoktista.</b>			
1.1.	Objasni pripadnost carstva protoktista (odjeljka algi) nadcarstvu eukariota.	R1	1. Zašto su modrozelenne alge te zeleni i svijetleći bičaći svrstani u dva različita nadcarstva? Navedi nazive nadcarstava o kojima je riječ.	R1
1.2.	Razlikovati alge kao autotrofne predstavnike od tipičnih predstavnika heterotrofnih protoktista.	R1	1. Koji su predstavnici carstva protoktista heterotrofni, a koji autotrofni organizmi?  2. Objasni zašto alge pripadaju autotrofnim protistima.	R1
2.	<b>Opisati građu zelenih i svijetlećih bičaća.</b>			
2.1.	Crtežom prikazati organele koji sudjeluju u građi zelenih i svijetlećih bičaća te ih	R2	1. Nacrtaj i označi građu zelene euglene.	R2

	prepoznati na mokrom preparatu.		2. Usporedi i navedi razlike u građi euglene i dinoflagelata.	
2.2.	Objasniti sastav i crtežom prikazati različito građene stanične omotače; pelikulu euglene i teke dinoflagelata.	R2	1. Usporedi i u T-tablici prikaži karakteristike različito građenih staničnih omotača vrsta <i>Euglena sp.</i> i <i>Peridinium sp.</i>  2. Nacrta i imenuj dijelove koji izgrađuju kućicu vrste <i>Peridinium sp.</i>	R2
2.3.	Objasniti koji organeli i na koji način omogućavaju slično pokretanje zelenih i svjetlećih bičša. Na temelju građe pelikule, zaključiti o pokretanju euglene promjenom oblika.	R1	1. Što i eugleni i dinoflagelatama omogućava pokretanje i na koji način?  2. Gdje su smješteni bičevi kod euglene, a gdje kod dinoflagelata?  3. Osim bičeva, koji organel, kako i u kojim uvjetima omogućava eugleni pokretanje?	R1
2.4.	Definirati ulogu očne pjege u fototaksiji.	R1	1. Gdje se nalazi očna pjega i koja je njezina uloga?  2. Što je fototaksija?	R1
3.	<b>Objasniti načine prehrane zelenih i svijetlećih bičša.</b>			
3.1.	Povezati građu alga (prisutnost kloroplasta) sa primarno autotrofnim načinom ishrane zelenih i svijetlećih bičša kao glavnom značajkom kopnenih biljaka.	R2	1. Koji je primaran način ishrane zelenih i svijetlećih bičša i koji preduvjet u građi stanice im to omogućava?  2. Koje biološke značajke povezuju zelene i svijetleće bičše sa kopnenim biljkama?	R2
3.2.	Povezati postojanje ostalih pigmenata s ulogom proširenja apsorpcijskog spektra fotosinteze i zaštitom fotosintetskog aparata.	R2	1. Nabroji i objasni ulogu ostalih pigmenata prisutnih kod zelenih i svijetlećih bičša.	R2
3.3.	Nabrojati produkte asimilacije i mjesto njihova skladištenja.	R1	1. Navedi produkte asimilacije kod euglene i kod dinoflagelata.  2. Kako se zovu organeli u kojima se nakupljaju produkti asimilacije?	R1
3.4.	Prepoznati da euglena ima karakteristike heterotrofnih organizama zbog prisutnosti stigme, kontraktilne vakuole i heterotrofne ishrane.	R2	1. Objasni zašto zelenu euglenu opisuju i botaničari i zoolozi.  2. Kako euglena opstaje u afotičnim uvjetima?	R2

<b>4.</b>	<b>Definirati načine razmnožavanja zelenih i svijetlećih bičaća.</b>			
<b>4.1.</b>	Opisati nesporno razmnožavanje euglene uzdužnom diobom i cistama.	<b>R1</b>	<p>1. Kako se zelena euglena razmnožava?</p> <p>2. Razmisli, što sve može utjecati na brzinu diobe euglene?</p>	<b>R1</b>
<b>4.2.</b>	Opisati nesporno razmnožavanje uzdužnom diobom i sporama te spolno razmnožavanje svijetlećih bičaća.	<b>R1</b>	<p>1. Opiši vegetativnu diobu dinoflagelata.</p> <p>2. Što su zoospore, a što aplanospore?</p> <p>3. Definiraj izgamiju i anizogamiju dinoflagelata.</p>	<b>R1</b>
<b>5.</b>	<b>Raspraviti o rasprostranjenosti, ekologiji i biološkom značaju zelenih i svijetlećih bičaća.</b>			
<b>5.1.</b>	Utvrđiti razloge rasprostranjenost zelenih i svijetlećih bičaća u morskim ili slatkovodnim ekosustavima.	<b>R3</b>	<p>1. Koja bi staništa izabrao s ciljem istraživanja zelenih i svijetlećih bičaća?</p> <p>2. Što će se dogoditi kada euglenu stavimo u morsku vodu? Objasni zašto!</p>	<b>R3</b>
<b>5.2.</b>	Istražiti fenomene svjetlucanja mora ili bioluminiscencije i „crvene plime“ povezane sa prisutnošću svijetlećih bičaća.	<b>R3</b>	<p>1. Objasni fenomen svjetlucanja morske površine ili bioluminiscencije noću.</p> <p>2. Protumači zašto se morska voda obale Floride i Meksičkoga zaljeva povremeno oboji u crveno (tkz. „crvena plima“).</p> <p>3. Razmisli, koji abiotički i biotički uvjeti potiču masovno razmnožavanje svijetlećih bičaća?</p> <p>4. Razjasni razloge uginuća morskih životinja tijekom pojave „crvene plime“. Kako se navedeno može odraziti na gospodarstvo te čovjekovu prehranu i zdravlje?</p>	<b>R3</b>
<b>5.3.</b>	Definirati pojam fitoplanktona i utvrditi njegov značaj kao temelj hranidbene piramide vodenih ekosustava.	<b>R2</b>	<p>1. Na temelju čega zelene i svijetleće bičaće svrstavamo u kategoriju fitoplanktona?</p> <p>2. Definiraj na primjeru hranidbene odnose između</p>	<b>R2</b>

			fitoplanktona, predstavljenim zelenim ili svijetlećim bičama, i ostalih članova hranidbenog lanca.	
5.4.	Objasniti ulogu zelenih i svijetlećih bičama kao bioindikatora ili pokazatelja kakvoće vode. Raspraviti o antropogenom utjecaju na vodene ekosustave.	R3	<p>1. Koju vrstu zelenih i svijetlećih bičama očekuješ u onečišćenim, a koju u čistim vodama? Kako se nazivaju organizmi koji ukazuju na određen stupanj kvalitete vode?</p> <p>2. Kako čovjek utječe na vodene ekosustave i njihov živi svijet?</p> <p>3. Kako se može smanjiti zagađenje voda?</p>	R3

Artikulacija (pregledni nacrt nastavnog sata)				
STRUKTURNI ELEMENT NASTAVNOG SATA	DOMINANTNA AKTIVNOST	Br. ishoda	SOCIOLOŠKI OBLIK RADA	TRAJANJE (min)
Uvod	<ul style="list-style-type: none"> <li>• metodom razgovora prisjetiti se sistematske podjele živoga svijeta</li> <li>• postavljanjem pitanja na kojeg će se odgovoriti tijekom nastavnog sata usmjeriti pažnju i motivirati učenike za buduću nastavnu djelatnost</li> </ul>	1.	frontalni rad	10
Obrada nastavnog sadržaja	<ul style="list-style-type: none"> <li>• metodom čitanja i rada na tekstu; metodom pisanja te metodom usmenog izlaganja prvenstveno učenika, uz pomoć nastavnika, ostvariti planirano po navedenim ishodima</li> <li>• metodom razgovora i rasprave provesti ishod 5. (pomoću video-prikaza ispuniti ishod 5.2)</li> </ul>	2.-4.	rad u grupi i individualan rad	40
		5.		10
Vježbanje	<ul style="list-style-type: none"> <li>• praktičnim radom (mikroskopiranjem) uvjeriti se u prisutnost zelenih i svijetlećih bičama u vodenim ekosustavima</li> <li>• vježbanje izrade mokrih preparata i rukovanja mikroskopom</li> </ul>		rad u grupi	20
Provjera	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pomoću postavljenih pitanja za provjeru, metodom razgovora, provjeriti usvojenost nastavnog sadržaja</li> </ul>	1.-5.	individualni rad	10

## **Materijalna priprema**

- **SREDSTVA:**
  - slike, tablice, video-snimke
  - udžbenik iz biologije za 2.razred gimnazije
  - radni listići
  - mokri preparati (Prilog 2)
- **POMAGALA**
  - računalo, projektor, ppt
  - mikroskop, predmetnice, pokrovnice, kapalice
  - priručnici za determinaciju

## **Tijek nastavnog sata**

### **Početni dio sata**

U uvodnom dijelu sata, metodom razgovora provjeravaju se učenička predznanja iz osnovne škole te postojanje mogućih miskoncepata koji se trebaju ispraviti. Ponovlja se i utvrđuje podjela živoga svijeta na dva nadcarstva. Učenike se pita da samostalno razvrstaju pet carstva u odgovarajuća nadcarstva, a zatim da imenuju praživotinje i jednostanične gljive prikazane na predstavljenim fotografijama. Prikazivanjem fotografija različitih vrsta alga pokušava se utvrditi prepoznaju li učenici navedenu kategoriju organizama. Nadalje, njihova se angažiranost osigurava i zadatkom da usporedbom praživotinja i alga, svrstaju alge u odgovarajuće carstvo. Pita ih se na temelju koje morfološke karakteristike alge pripadaju carstvu protoktista (Ishod 1.1.). Također, pokušavaju donijeti zaključak pripadaju li alge autotrofnim ili heterotrofnim protoktistima (Ishod 1.2.). Uz slikovni prikaz, učenicima se postavlja pitanje tipa: „ Zašto more povremeno postaje krvavo crveno i noću svijetli? Apokalipsa ili nešto drugo?“ čime se osigurava motiviranost i zainteresiranost učenika, a ujedino predstavlja uvod u novu nastavnu jedinicu.

### **Središnji dio sata**

Središnji dio sata započinje podjelom učenika u 4 skupine s ciljem grupnog rada u obradi novog nastavnog sadržaja korištenjem metoda čitanja, rada na tekstu i pisanja. Prva će grupa biti zadužena za obradu sadržaja o građi zelenih bičaća, druga o građi svijetlećih bičaća, dok će treća i četvrta grupa uspoređivati jedna prehranu, a druga razmnožavanje oba taksonomska odjeljka. Svaka grupa obrađuje svoj dio teksta u udžbeniku, a grupa 1 i 2 rješava i nastavni listić (Prilog 1). Ostali ga učenici popunjavaju tijekom njihova izlaganja. Ovim je pristupom osigurano aktivno učenje tijekom većeg dijela nastavnoga sata uz najveći angažman učenika. Kako bi se zajamčila aktivnost svih učenika u grupi, nastavnik odabire osobu koja će metodom usmenog izlaganja predstaviti rezultate. Nastavnik vodi i usmjerava učenike tijekom rada te dodatno pojašnjava, nadopunjava i ističe najbitnije pisanjem i crtanjem Vennovog dijagrama na ploči tijekom izlaganja.

Predstavnik prve grupe naglašava da su zeleni bičaći jednostanični protoktisti sa dva biča smještena na prednjoj strani stanice. Kao model, poslužiti će slika najvažnijeg predstavnika, zelene euglene (*Euglena viridis*) na kojoj će učenik istaknut postojanje kloroplasta, pirenoida, objasniti ulogu kontraktilne vakuole u osmotskoj regulaciji, a posebice postojanje jezgrine ovojnice kao svojstva eukariotskih organizama. Obrazložiti će ulogu stigme kao fotoreceptivnog organela u usmjerenom kretanju euglene prema svjetlosti (fototaksija). Objasniti će da su stanice obavijene plazmatskom ovojnicom ili pelikulom proteinskoga



sastava ispod koje se nalaze vezikule koje izlučuju sluz. Razjasnit će pokretanje euglene izbacivanjem trepetljivog, dužeg biča (smještenog u spremniku ili vrećici sa ždrijelom), ali i prelijevanjem plazme s jednog kraja na drugi. Gibanje promjenom oblika omogućeno je elastičnim svojstvima pelikule, a olakšava kretanje u blatnjavom okolišu.

Druga će grupa uspoređujući građu zelenih i svijetlećih bičaća pronaći sličnu unutarstaničnu građu, naglašavajući bičeve kao zajedničku karakteristiku po kojoj su ovi odjeljci i dobili naziv. Očekuje se da prepoznaju temeljnu razliku; postojanje čvrste stanične stijeneke ili teke („kućica“) građene od celuloznih, poligonalnih ploča. U građi „kućice“ razlikuje se vrh (*apex*), dno (*antapex*), flagelarne pore, pojas (*cingulum*) te uzdužna i poprečna brazda iz kojih izlazi po jedan bič. Poprečna brazda dijeli „kućicu“ na gornju polovinu, epiteku i donju hipoteku. Pomoću „trepetljivog“ biča u poprečnoj brazdi, jedinka se okreće oko svoje osi, a „pokretački“ bič u uzdužnoj brazdi gura ju gore-dolje. Uspješnim izlaganjem 1. i 2. grupe ostvarit će se predviđen Ishod 2.

Prisutnost će kloroplasta navesti treću grupu na zaključak o primarno autotrofnom načinu ishrane oba odjeljka. Uz klorofil-a, oba odjeljka imaju pomoćne pigmente; crvene karotenoide i žute ksantofile koji šire spektar boja koje pokreću fotosintezu te apsorbiraju višak svjetlosti, tako spriječavajući oštećenja fotosintetskog aparata. Dok zeleni bičaći imaju klorofil-b, svijetleće bičaće karakterizira klorofil-c. Oba odjeljka skladište produkte asimilacije u posebnim organelima, pirenoidima. Produkt asimilacije u euglene je ugljikohidrat sličan škrobu, paramilum, dok kod dinoflagelata pronalazimo poliglukane, masna ulja i škrob. U nepovoljnim uvjetima, euglena prelazi na životinjski (heterotrofan) način prehrane; tj. odbacuje bičeve, izlučuje galertasti sloj i stvara ciste koje podnose duže isušivanje ili apsorbira nutrijente preko pelikule (Ishod 3.).

Četvrta će grupa istaknuti nesporno razmnožavanje jednostavnim uzdužnom diobom kao zajedničko svojstvo oba odjeljka koje uključuje podjelu jezgre (kariokineza), staničnih organela i citoplazme (citokineza). Kod dinoflagelata svaka stanica kćer dobiva jednu, a drugu polovicu „kućice“ regenerira. Nakon nekoliko takvih dioba slijedi nesp. razmnožavanje sporama. Unutar majčine stanice mogu nastati ispočetka gole i pokretne spore s bičevima (zoospore) ili nepokretne aplanospore. Sporno razmnožavanje izogamijom (morfološki jednake gametama) te anizogamijom (fiziološki i morfološki različite makro i mikrogamete) je rjeđe kod dinoflagelata, a nije zabilježeno kod zelenih bičaća (Ishod 4.).

Nakon grupnoga rada, 2. sat svaki učenik individualno čita tekst o rasprostranjenosti zelenih i svijetlećih bičaća pokušavajući dokučiti razlog tomu. Ako je potrebno, nastavnik upućuje učenike na građu staničnoga omotača. Kratkominutni će video-prikazi kao audio-vizualno sredstvo poslužiti kao odgovor na pitanje postavljeno na početku sata (<https://www.youtube.com/watch?v=AvigoZgYbT4>, <https://www.youtube.com/watch?v=uqJbUKEPgXc>), a njegovo će se razumijevanje provjeriti predviđenim pitanjima za ponavljanje. Nadalje, učenike će se zatražiti da definiraju pojam fitoplanktona. Nastavnik će istaknuti činjenicu da su svijetleći bičaći najvažniji predstavnici morskog, a zeleni bičaći važni predstavnici riječnog fitoplanktona uz napomenu da fitoplankton čini osnovu hranidbene piramide. Tijekom ponavljanja, učenici će primijeniti dobivenu informaciju za stvaranje primjera hranidbenog lanca. Konačno, jedan će od učenika pročitati tekst iz udžbenika koji objašnjava ulogu zelenih i svijetlećih bičaća kao bioindikatora. Tijekom provjere, kratko će se raspraviti o problemu i rješenjima antropogenog utjecaju na vodene ekosustave (Ishod 5.) te tako osigurati ostvarenost afektivnog cilja učenja.

Tijekom vježbanja, jedan učenik u grupi izrađuje mokri preparat koji zatim mikroskopira s ciljem dokazivanja predmetnih alga u vodenim ekosustavima, ali i razvoja vještina. Nakon pronalaska, učenike se usmjerava da pažljivo promotre pronađenu algu te pokušaju odrediti stanične organele (npr. najbolje vidljivu stigmiju, bičeve, pirenoide). Pomoću priručnika za determinaciju pokušavaju odrediti i ostale alge. Grupa koja odredi najveći broj vrsta je pobjednik (Prilog 2; Ishod 2.1.). Praktični je rad nastavna metoda koja omogućava da se tijekom ovog nastavnog sata ostvari psihomotorička domena učenja.

#### Završni dio sata

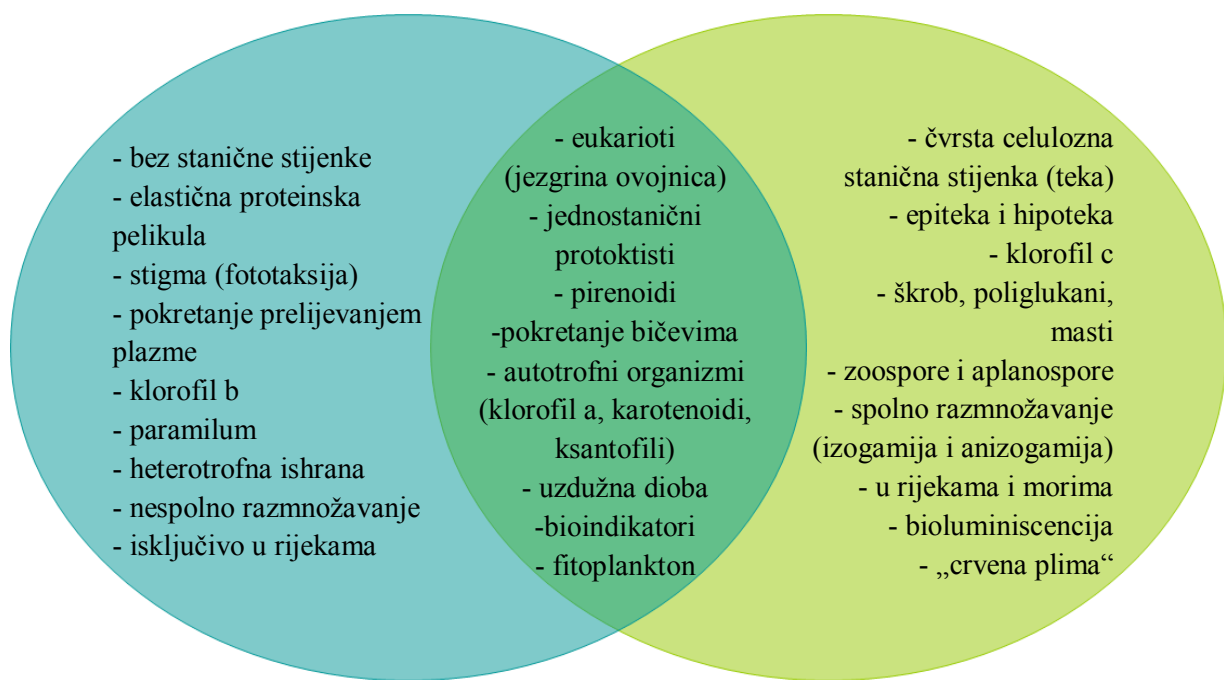
Nakon središnjeg dijela sata, slijedi ponavljanje novoga nastavnog gradiva pomoću postavljenih pitanja za provjeru znanja. Učenici usmenim putem odgovaraju na pitanja. U slučaju netočnog odgovora, nastavnik potpitanjima usmjerava učenika prema točnom odgovoru. Na ovaj se način dodatno utvrđuje gradivo i provjerava ostvarenost planiranih ishoda nastave (Ishodi 1.-5.).

#### Plan učeničkog zapisa

##### Zeleni i svijetleći bičeaši

##### ZELENI BIČEAŠI (*Euglenophyta*)

##### SVIJETLEĆI BIČEAŠI (*Phyrrrophyta*)



#### Prilagodba za učenike s posebnim potrebama

Učenici s posebnim potrebama sudjeluju u nastavi i izvođenju praktičnoga rada uz manju ili veću pomoć svoga para ili učitelja. Tijekom izlaganja rješavaju prilagođene zadatke iz Priloga 3.

#### Literatura

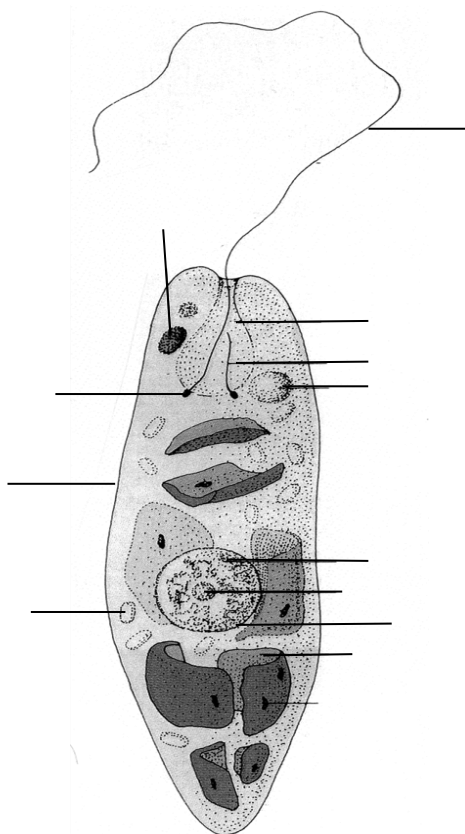
Mayr Radonić M, Veček Šimunović S, Šeparović Markota Z. 2008. *Biologija 2: Monera, rotisti, gljive, biljke, udžbenik za drugi razred gimnazije*. Profil, Zagreb.

## Prilozi

### PRILOG 1.

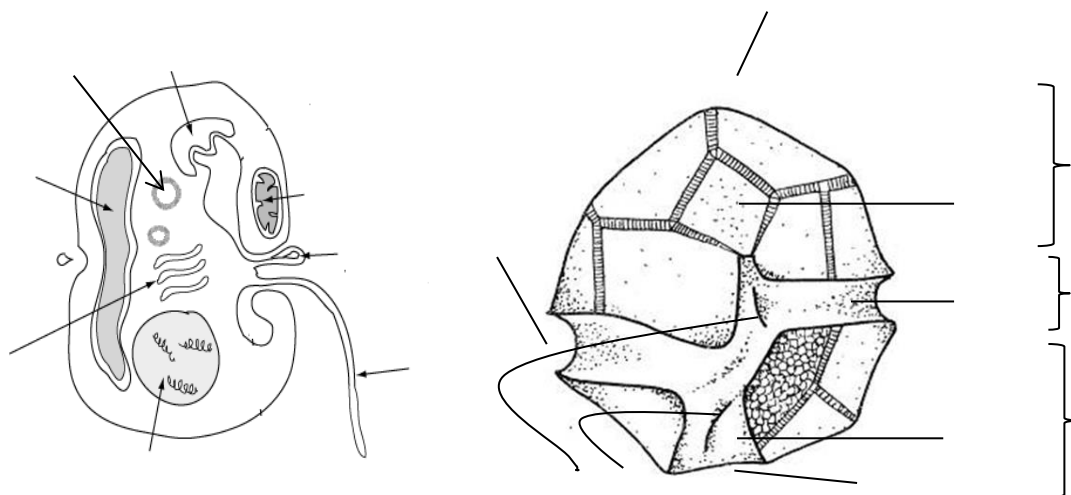
#### Zeleni bičaši (*Euglenophyta*)- grupa 1

1. Na crtežu imenuj označene dijelove koji izgrađuju stanicu zelene euglene (*Euglena viridis*).



#### Svijetleći bičaši (*Pyrrophyta*)- grupa 2

2. Na crtežu imenuj označene dijelove koji izgrađuju stanicu roda *Peridinium*.



## **PRILOG 2.**

### **Mikroskopiranje zelenih i svijetlećih bićaša**

#### **Pripremanje uzoraka:**

Uzorci alga za mikroskopiranje, odnosno kvalitativnu analizu dobivaju se procjeđivanjem 10 L vode kroz fitoplanktonsku mrežicu čime se dobije oko 1 dL uzorka. Tako se dobiveni uzorci čuvaju u otopini sa 4%-tnim formaldehidom. Bočica sa uzorkom treba imati pripadajuću naljepnicu sa označenim datumom, mjestom uzorkovanja, količinom profiltrirane vode i vrstom uzorka.

#### **Materijali i pribor:**

uzorak vode, mikroskop, predmetnice, pokrovnice, kapalice, iglice, staničevina

#### **Postupak:**

Ne miješajući bočicu, kapalicom sa dna uzmi uzorak. Stavi jednu kap uzorka vode na sredinu predmetnice, a zatim pokrij pokrovnicom. Mokri preparat sa algama promatraj pod mikroskopom pri različitim povećanjima prilikom pronalaska predstavnika zelenih i svijetlećih bićaša. Prouči građu njihove stanice. Pomoću priručnika za determinaciju pokušaj odrediti što veći broj ostalih alga u uzorku.

## **PRILOG 3.**

### **Prilagođeni zadaci za učenike s posebnim potrebama**

1. Ako je tvrdnja točna zaokruži slovo T, a ako je netočna slovo N.

- |  |     |
|--|-----|
| Jezgrinu ovojnicu glavno je svojstvo eukariota.          | T-N |
| Zeleni i svijetleći bićaši pripadaju carstvu prokariota. | T-N |
| Zeleni su i svijetleći bićaši jednostanični organizmi.   | T-N |

2. Nabroji osnovne stanične organele koji izgrađuju zelenu euglenu.

3. Zaokruži točne odgovore.

1. Crvena očna pjega služi primanju:

- a) svjetlosnih podražaja
- b) mehaničkih podražaja
- c) kemijskih podražaja

2. Stanični omotač zelene euglene:

- a) naziva se pelikula
- b) je stanična stijenka
- c) je elastičan
- d) građen je od dva dijela

3. Sposobnost proizvodnje svjetlosti svijetlećih bićaša naziva se:

- a) bioluminiscencija
- b) bioindikatori

c) navedeni organizmi ne proizvode svjetlost

4. Nadopuni rečenice:

Zelena euglena ima \_\_\_\_\_ i \_\_\_\_\_ način prehrane, a može se razmnožavati \_\_\_\_\_ i \_\_\_\_\_ .

Zeleni i svijetleći bičšaši pokreću se zahvaljujući \_\_\_\_\_ .

Zeleni bičšaši nastanju \_\_\_\_\_ vode, dok ćemo svijetleće bičšaše uglavnom pronaći u \_\_\_\_\_ .

5. Pojmovima na lijevoj strani pridruži odgovarajuće slovo na desnoj strani.

bioindikatori \_\_\_\_

plankton \_\_\_\_

pričuvna zrnca \_\_\_\_

klorofil \_\_\_\_

a) organizmi koji plutaju u vodi nošeni vodenim strujama

b) organizmi koji ukazuju na čistu ili onečišćenu vodu

c) glavni fotosintetski pigment u svih alga i biljaka

d) organeli s ulogom skladištenja šećera, proteina, masti

## KRITERIJI

POSTIGNUĆE	2	3	4	5
<b>1. Objasniti sistematsku podjelu carstva protoktista.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• prepoznaje podjelu živoga svijeta na prokariote i eukariote               <ul style="list-style-type: none"> <li>• neuspješno razvrstava carstva pripadajućim nadcarstvima</li> </ul> </li> <li>• ne razumije razlog pripadnosti protoktista (zelenih i svijetlećih bića) eukariotima</li> <li>• prisjeća se podjele protoktista na autotrofne i heterotrofne organizme, ali bez navođenja tipičnih predstavnika</li> <li>• ne objašnjava razloge pripadnosti alga autotrofnim protoktistima</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• poznaje podjelu živoga svijeta na dva nadcarstva               <ul style="list-style-type: none"> <li>• uz manju pomoć nastavnika, uspješno dijeli nadcarstva na odgovarajuća carstva</li> </ul> </li> <li>• samostalno objašnjava razloge pripadnosti modrozelenih alga te svijetlećih i zelenih bića različitim nadcarstvima</li> <li>• prepoznaje alge kao predstavnike autotrofnih protoktista te objašnjava razloge istoga</li> <li>• uz manju pomoć nastavnika, prisjeća se predstavnika heterotrofnih protoktista</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• uz minimalnu pomoć, uspješno objašnjava cjelokupnu taksonomsku klasifikaciju živoga svijeta</li> <li>• navodeći razloge podjele</li> <li>• samostalno dijeli carstvo protoktista na autotrofne i heterotrofne organizme te navodi predstavnike</li> <li>• objašnjava pripadnost alga autotrofnim organizmima</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• samostalno, bez navođenja uspješno objašnjava cjelokupnu taksonomsku klasifikaciju živoga svijeta</li> <li>• navodeći razloge podjele</li> <li>• samostalno dijeli carstvo protoktista na autotrofne i heterotrofne organizme te navodi predstavnike</li> <li>• objašnjava pripadnost alga autotrofnim organizmima</li> </ul>
<b>2. Opisati građu zelenih i svijetlećih bića.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• teško se prisjeća izgleda i građe zelenih i svijetlećih bića; skicira crtež sa nepotpuno prikazanim staničnim organelima euglene</li> <li>• neuredno izrađuje mokri preparat, s teškoćama rukuje mikroskopom te ne pronalazi i ne prepoznaje predmetne alge</li> <li>• ne uočava sličnosti i razlike u građi euglene i dinoflagelata</li> <li>• uz nastavnikova potpitanja, navodi osnovne razlike u građi staničnih omotača euglene i peridinjuma, (bez navođenja sastava i poznavanja pojmova pelikula i teka)</li> <li>• crta, ali ne imenuje dijelove „kućice“ peridinjuma</li> <li>• prepoznaje bičeve</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• uz manju pomoć nastavnika skicira građu i imenuje organele euglene</li> <li>• uz manju pomoć, uredno izrađuje mokri preparat, uz pomoć nastavnika lako savladava zadatke rukovanja mikroskopom, pronalaska i prepoznavanja predmetnih alga</li> <li>• uz nastavnikovo navođenje, iznosi razlike u građi euglene i dinoflagelata</li> <li>• uz pomoć, navodi sve karakteristike različito građenih staničnih omotača euglene i peridinjuma, ne povezuje ih sa sastavom, poznaje pojmove pelikula i teka</li> <li>• uspješno skicira, samostalno imenuje dijelove „kućice“ peridinjuma uz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• samostalno skicira građu i točno imenuje organele euglene</li> <li>• samostalno i uredno izrađuje mokri preparat te rukuje mikroskopom, uz manju pomoć pronalazi i prepoznaje predmetne alge</li> <li>• samostalno dolazi do zaključka o sličnoj unutarstaničnoj građi euglene i dinoflagelata</li> <li>• uz minimalno navođenje, uspoređuje svojstva staničnih omotača euglene i peridinjuma, povezuje ih sa njihovim sastavom, definira pojmove pelikula i teka</li> <li>• točno skicira i imenuje dijelove „kućice“ peridinjuma</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• samostalno skicira građu, točno imenuje organele povezujući ih sa njihovom ulogom</li> <li>• bez pomoći, uredno izrađuje mokri preparat, rukuje mikroskopom, pronalazi i prepoznaje predmetne alge te pomaže ostalima</li> <li>• samostalno dolazi do zaključka o sličnoj unutarstaničnoj građi euglene i dinoflagelata</li> <li>• bez pomoći uspoređuje svojstva staničnih omotača euglene i peridinjuma, povezuje ih sa njihovim sastavom, definira pojmove pelikula i teka</li> <li>• točno skicira i imenuje dijelove „kućice“ peridinjuma</li> </ul>

	<p>kao zajednički način pokretanja zelenih i svijetlećih bičaća, ali netočno opisuju njihov smještaj na stanici</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• prisjeća se promjene oblika euglene prilikom pokretanja, ne obrazlažući zašto i u kojim uvjetima</li> <li>• navodi definiciju, ali ne i ulogu očne pjege, ne poznaje pojam fototaksija</li> </ul>	<p>pogreške i zamijenu pojmova npr. epiteka, hipoteka</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• prepoznaje bičeve kao zajednički način pokretanja zelenih i svijetlećih bičaća, uspješno opisuje njihov smještaj, izostavlja opis ždrijela i vrećice</li> <li>• samostalno navodi pokretanje euglene prelijevanjem plazme, uz nastavnikova potpitanja povezuje sposobnost promjene oblika sa elastičnim svojstvima pelikule</li> <li>• navodi definiciju i ulogu očne pjege, definira pojam fototaksije</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• prepoznaje bičeve kao zajednički način pokretanja zelenih i svijetlećih bičaća, uspješno opisuje njihov smještaj, uz opis ždrijela i vrećice</li> <li>• navodi i pokretanje euglene prelijevanjem plazme samostalno ga povezujući sa elastičnim svojstvima pelikule</li> <li>• navodi definiciju i ulogu očne pjege, definira pojam fototaksije</li> </ul>	<p>navodeći i latinske nazive</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• prepoznaje bičeve kao zajednički način pokretanja zelenih i svijetlećih bičaća, uspješno opisuje njihov smještaj, uz opis ždrijela i vrećice</li> <li>• navodi i pokretanje euglene prelijevanjem plazme samostalno ga povezujući sa elastičnim svojstvima pelikule</li> <li>• navodi definiciju i ulogu očne pjege, povezuje sa fototaksijom kod biljaka i drugih organizama</li> </ul>
<p><b>3. Objasniti načine prehrane zelenih i svijetlećih bičaća.</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• navodi primarno autotrofan način ishrane zelenih i svijetlećih bičaća, ali ne stvara poveznice građom i svojstvima biljnih organizama</li> <li>• osim klorofila-a, ne navode ostale pigmente i ne objašnjavaju njihovu ulogu</li> <li>• prisjeća se, ali netočno pridružuje produkte asimilacije zelenim i svijetlećim bičaćima, navodi mjesto njihova skladištenja</li> <li>• navodi heterotrofnu ishranu euglene, ne povezuje ju sa ekološkim uvjetima i svojstvima membrane</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• samostalno navodi primarno autotrofan način ishrane zelenih i svijetlećih bičaća, uz potpitanja stvara korelaciju sa građom (kloroplastima) i biljnim organizmima</li> <li>• uz manju pomoć, razlikuju pigmente zelenih i svijetlećih bičaća prisjećajući se njihove uloge u fotosintezi, ali ne daje potpuno objašnjenje</li> <li>• definira produkte asimilacije i pirenoide kao mjesto njihova skladištenja</li> <li>• poznaje heterotrofnu ishranu euglene, uz pomoć ju ispravno povezuje sa uvjetima okoliša</li> <li>• uz pomoć, prepoznaje prisutnost stigme i kontraktilne vakuole kao svojstvo heterotrofnih organizama</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• bez pomoći, autotrofnu prehranu zelenih i svijetlećih bičaća povezuje sa građom i svojstvima kopnenih biljaka</li> <li>• samostalno nabraja i opisuje te uz navođenje objašnjava ulogu pigmenata u zaštiti i širenju apsorpcijskog spektra u procesu fotosinteze</li> <li>• definira produkte asimilacije i pirenoide kao mjesto njihova skladištenja</li> <li>• samostalno obrazlaže zašto je euglena predmet proučavanja botaničara i zoologa</li> <li>• uz minimalnu pomoć, povezuje afotične uvjete i semipermeabilna svojstva pelikule sa heterotrofnom ishranom</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• bez pomoći, autotrofnu prehranu zelenih i svijetlećih bičaća povezuje sa građom i svojstvima kopnenih biljaka</li> <li>• samostalno nabraja, opisuje i objašnjava ulogu pigmenata u zaštiti i širenju apsorpcijskog spektra u procesu fotosinteze</li> <li>• definira produkte asimilacije i pirenoide kao mjesto njihova skladištenja</li> <li>• samostalno obrazlaže zašto je euglena predmet proučavanja botaničara i zoologa</li> <li>• samostalno povezuje afotične uvjete i semipermeabilna svojstva pelikule samostalno sa heterotrofnom ishranom</li> </ul>
<p><b>4. Definirati načine razmnožavanja zelenih i svijetlećih bičaća.</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• bez dodatnog objašnjenja i razumijevanja navodi postojanje spolnog razmnožavanja gametama kod dinoflagelata te</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• samostalno opisuje nesporno razmnožavanje euglene i dinoflagelata, ali ne stvara poveznicu sa ekološkim uvjetima</li> <li>• navodi spolno i</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• samostalno opisuje nesporno razmnožavanje euglene i dinoflagelata opisujući ekološke uvjete koji utječu na</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• samostalno opisuje nesporno razmnožavanje euglene i dinoflagelata opisujući ekološke uvjete koji utječu na</li> </ul>

	nespolnog, uzdužnom diobom, kod oba odjeljka	nespolno razmnožavanje svijetlećih bičaća, ali ima teškoća sa razlikovanjem pojmovi zoospore i aplanospore, izogamija i anizogamija	brzinu diobe • uz manju pomoć nastavnika snalazi se i objašnjava pojmove zoospore, asplanospore, izogamija i anizogamija	brzinu diobe, snalazi se i objašnjava pojmove zoospore, asplanospore, izogamija i anizogamija
<b>5. Raspraviti o rasprostranjenosti, ekologiji i biološkom značaju zelenih i svijetlećih bičaća.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• nabraja staništa zelenih i svijetlećih bičaća bez povezivanja s građom stanice</li> <li>• definira pojam hipertonična otopina, ali ne primjenjuje znanje u rješavanju problema</li> <li>• definira pojam bioluminiscencije, ali ga ne povezuje sa oksidacijom luciferina</li> <li>• ne pokazuje preveliki interes za video prikaz o „crvenoj plimi“, sudjeluje u raspravi samo na poticaj, ne izražava svoje mišljenje o uzrocima i antropogenim posljedicama fenomena</li> <li>• definira plankton, uz pomoć nastavnika definira fitoplankton, ali ga ne koristi u objašnjenju hranidbenih odnosa</li> <li>• definira pojam bioindikatora, ali ne navodi primjere</li> <li>• samo na poticaj nastavnika, iznosi mišljenje o antropogenom utjecaju na vodene ekosustave</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• nabraja staništa zelenih i svijetlećih bičaća bez povezivanja s građom</li> <li>• uz veću pomoć nastavnika, rješava problem osmoregulacije u morskoj vodi</li> <li>• definira pojam bioluminiscencije te ga povezuje sa oksidacijom luciferina</li> <li>• zainteresiran za video prikaz, samostalno definira te uz pomoć nastavnika, pokušava objasniti uzroke „crvene plime“, ali ne raspravlja o posljedicama fenomena za čovjeka</li> <li>• samostalno objašnjava razloge pripadnosti zelenih i svijetlećih bičaća fitoplanktonu, uz pomoć nastavnika objašnjava hranidbene odnose</li> <li>• uz definiciju, navodi primjere svijetlećih i zelenih bičać kao bioindikatora</li> <li>• sudjeluje u raspravi o antropogenom utjecaju na vodene ekosustave</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• uz navođenje, uspješno obrazlaže razloge rasprostranjenosti zelenih bičaća u slatkoj, odnosno svijetlećih bičaća u slanoj vodi</li> <li>• povezujući isto sa staničnom građom</li> <li>• samostalno objašnjava razloge smežuranja stanice euglene u hipertoničnoj otopini</li> <li>• definira pojam bioluminiscencije te ga povezuje sa oksidacijom luciferina</li> <li>• aktivno sudjeluje u raspravi, iznosi svoja mišljenja o uvjetima koji uzrokuju „cvjetanje vode“ i posljedicama na čovjeka</li> <li>• navodi ideje</li> <li>• kako bi svojim djelovanjem mogao smanjiti problem rasipne potrošnje i zagađenja vode</li> <li>• samostalno objašnjava razloge pripadnosti zelenih i svijetlećih bičaća fitoplanktonu te daje primjer hranidbenog lanca</li> <li>• aktivno sudjeluje u raspravi te daje prijedloge smanjenja onečišćenja voda</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• samostalno analizira razloge istraživanja zelenih bičaća u tekućicama, odnosno svijetlećih bičaća u morima povezujući isto sa građom staničnog omotača</li> <li>• samostalno osmišlja postavljanje pokusa s ciljem rješavanja problema osmoregulacije stanice euglene u morskoj vodi</li> <li>• definira pojam bioluminiscencije te ga povezuje sa oksidacijom luciferina</li> <li>• samoinicijativno istražuje različite dodatne izvore s ciljem boljeg razumijevanja bioluminiscencije i crvene plime</li> <li>• aktivno sudjeluje u raspravi, iznosi svoja mišljenja o uvjetima koji uzrokuju „cvjetanje vode“ i posljedicama na čovjeka</li> <li>• samostalno objašnjava razloge pripadnosti zelenih i svijetlećih bičaća fitoplanktonu te daje primjer hranidbenog lanca</li> <li>• aktivno sudjeluje u raspravi te daje prijedloge smanjenja onečišćenja voda, dobrovoljno se javlja za npr. izradu plakata s ciljem promicanja svijesti o očuvanju voda</li> </ul>



## 8. LITERATURA

Abonyi A, Leitão M, Lançon AM, Padisák J. 2012. Phytoplankton functional groups as indicator of human impacts along the River Loire (France). *Hydrobiologia* 698:233-249.

Blanco S, Ector L. 2009. Distribution, ecology and nuisance effects of the freshwater invasive diatom *Didymosphenia geminata* (Lyngbye) M. Schmidt: a literature review. *Nova Hedwigia* 88:347-422.

Boriscs G, Várbíró G, Grigorszky I, Krasznai E, Szabó S, Kiss KT. 2007. A new evaluation technique of potamoplankton for the assesement of the ecological status of rivers. Large Rivers 17. *Arch. Hydrobiol. Suppl.* 161:465-486.

Bormans M, Maier H, Burch M, Baker P. 1997. Temperature stratification in the lower River Murray, Australia: implication for cyanobacterial bloom development. *Mar. Freshwater Res.* 48:647-54.

Bronmark C, Hansson LA. 2005. *The Biology of Lakes and Ponds*. (2nd ed.). Oxford University Press Inc., New York.

Carvajal-Chitty H. 1993. Some notes about the Intermediate Disturbance Hypothesis and the effects on the phytoplankton of the middle Orinoco river. *Hydrobiologia* 249(1):117-124.

Descy JP. 1993. Ecology of the Phytoplankton of the River Moselle: effects of the disturbances on community structure an diversity. *Hydrobiologia* 249(1):111-116.

Devercelli M. 2006. Phytoplankton of the Middle Paraná River during an anomalous hydrological period: a morphological and functional approach. *Hydrobiologia* 563:465-478.

Dodds WK. 2006. Eutrophication and trophic state in rivers and streams. *Limnol. Oceanogr.* 51(1, part 2):671-680.

Dooge JCI. 2009. *Fresh Surface Water*. Vol 2 Encyclopedia of Life Suport Systems. Eolss Publishers Co. Ltd., Oxford, UK, 222-223 pp.

Državni zavod za zaštitu prirode (DZZP). 2009. Stručna podloga za proglašenje područja Mura-Drava u Republici Hrvatskoj regionalnim parkom. Zagreb.

Dugački Z. 1932. Drava. *Enciklopedija Jugoslavije*. Jugoslavenski leksikografski zavod, Zagreb, sv. 3:83-84.

EC. 2000. Council Directive for a legislative frame and actions for the water policy. – 2000/60/EC, Off. J. of the EC/22/12/2000.

Falasco E, Bona F. 2013. Recent findings regarding non-native or poorly known diatom taxa in north-western Italian rivers. *J. Limnol.* 72(1): 35-51.

Floodplain Ecology and River Basin Management (FLUVIUS). 2006. Pilot Study: Hydromorphological Survey and Mapping of the Drava and Mura Rivers. Vienna, Austria.

FLUVIUS. 2007. Pilot Study: Hydromorphological Survey and Mapping of the Drava and Mura Rivers. Vienna, Austria.

García de Emiliani MO. 1997. Effects of water level fluctuations on phytoplankton in a river-floodplain lake systems (Paraná River, Argentina). *Hydrobiologia* 357(1):1-15pp.

Gavazzi A. 1908. Der Flächeninhalt der Flussgebiete in Kroatien. *Glasnik hrvatskog prirodoslovnog društva* 20:60-77.

Grlica I. 2007. Studija biološke raznolikosti rijeke Drave: Stanište-strme obale i sprudovi I dio. *Prirodoslovno društvo „Drava“*, Virovitica..

Grlica I. 2008. Studija biološke raznolikosti rijeke Drave: Dravske mrtvice i odvojeni rukavci II dio. *Prirodoslovno društvo „Drava“*, Virovitica.

Gucunski D. 1980. Utjecaj otpadnih voda „Kombinata Belišće“ na fitoplankton Drave. *Zbornik radova simpozija „Kombinat Belišće kao činitelj privrednog razvoja“*, Belišće, 377-388 pp.

Gucunski D. 1981. Einfluss der Abwasser der Stadt Osijek auf das Phytoplankton der Draa. *Internationale Arbeitsgemeinschaft Donauforschung der Societas Internationalis Limnologiae*, Basel, 115-116.

Guiry MD, Guiry GM. 2014. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <http://www.algaebase.org>; pristupljeno 6. lipnja, 2016.

Hillebrand H, Dürselen CD, Kirchtel D, Pollinger U, Zohary T, 1999. Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. *Journal of Phycology* 35:403-424.

Hilton J, O'Hare M, Bowes MJ, Jones JJ. 2006. How green is my river? A new paradigm of eutrophication in rivers. *Science of the Total Environment* 365:66-83.

Hindak F. 1977-1990. *Studies on the chlorococcales algae (Chlorophyceae) I-IV*. VEDA. Publishing House of the Slovak Academy of Sciences, Bratislava.

Hindak F, Cyrus Z, Marvan P, Javornický P, Komarek J, Ettl H, Rosa K, Sladečková A, Popovský J, Pončocharová M, Lhotský O. 1978. *Slatkovodné riasy*. Slovenske pedagogicke nakladelstvo, Bratislava.

Hindak F, Komarek J, Marvan P, Ružička J. 1975. *Kľúč na určovanie vytrusných rastlín. I. diel: Riasy*. Slovenske pedagogicke nakladelstvo, Bratislava.

Hoffmann G. 1994. *Aufwuchs-Diatomeen in Seen und ihre Eignung als Indikatoren der Trophie*. (in:) *Bibliotheca Diatomologica*, band 30. J.Cramer, Berlin 1-241.pp

Horvatić J, Gucunski D. 1990. Contribution to the study of phytoplankton and quality of water of the river Drava in Osijek. II Jugoslavenski simpozij mikrobne ekologije. Hrvatsko ekološko društvo. Zbornik radova / Božidar Stilić (ed).—Zagreb: *Hrvatsko ekološko društvo*, 43-50.

Horvatić J, Popović Ž, Plaščak E. 1997. Der Einfluß von Abwässern auf die Entwicklung des Phytoplanktons im Fluß Drau bei Osijek. *International Arbeitsgemeinschaft Donauforschung der Societas Internationalis Limnologiae*. Wissenschaftliche referate. Wien, 145-148.

Illies J, Botosaneanu L. 1963. Problèmes et méthodes de la classification et de la zonation écologique des eaux courantes, considérées surtout du point de vue faunistique. *Mitt. Int. Ver. Theor. Angew. Limnol.* 12:1-57.

Javornický P, Komárková J. 1973. The changes in several parameters of plankton primary productivity in Slapy Reservoir 1960-1967, their mutual correlations and correlations with the main ecological factors.

Jevđević V. 1956. *Energetski izvori Jugoslavije*, A. Vodne snage. Drugi dio: Vodne snage Jugoslavije. Jugoslavenski nacionalni komitet svjetske konferencije za energiju, Beograd, 242-251 pp.

Jones RI, Barrington RJ. 1985. A study of the suspended algae in the River Derwent, Derby-shire, UK. *Hydrobiologia* 128:255-264.

Kelly MG, Whitton BA. 1995. The Trophic Diatom Index: a new index for monitoring eutrophication in rivers. *J. Appl. Phycol.* 7:433-444.

Kerovec M. 1988. *Ekologija kopnenih voda*. Hrvatsko ekološko društvo i dr. Ante Pelivan, Zagreb.

Kiss KT. 1997. Short and long-term changes of phytoplankton in the Hungarian section of Danube river. Doctorate thesis. University of Debrecen, Hungary.

Kiss KT, Genkal SI. 1993. Winter blooms of centric diatoms in the River Danube and in its side-arms near Budapest (Hungary). *Hydrobiologia* 269(270):317-325.

Kiss KT, Klee R, Ector L, Ács É. 2012. Centric diatoms of large rivers and tributaries in Hungary: morphology and biogeographic distribution. *Acta Bot. Croat.* 71(2):311-363.

Komárek J. 1973. The communities of algae of Opatovický Fishpond (South Bohemia). In: Heiny S (ed): *Ecosystem on Wetland Biome in Czechoslovakia*. Czechoslovak National Committee for the International Biological Programme, Report No. 3, Czechoslovak Academy of Sciences, Trebon, 179-184. pp.

Krammer K, Lange-Bertalot H. 1986. *Bacillariophyceae 1, Naviculaceae*, (in:) Süßwasserflora von Mitteleuropa 2, T1, Ettl H, Gerloff J, Heynig H, Mollenhauer D. Spektrum akademischer verlag, Stuttgart.

Krammer K, Lange-Bertalot H. 1991. *Bacillariophyceae 3, Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae* (in:) Süßwasserflora von Mitteleuropa 2, T3, Ettl H, Gerloff J, Heynig H, Mollenhauer D. Spektrum akademischer verlag, Stuttgart.

Kruk C, Segura AM. 2012. The habitat template of phytoplankton morphology-based functional groups. *Hydrobiologia* 698:191-202.

Lampert W, Sommer U. 1997 i 2007. *Limnoecology: The Ecology of Lakes and Streams*. Oxford Universita Press, Oxford, UK.

Lorenzen CJ. 1967. Determination of chlorophyll and phaeopigments: spectrophotometric equations. *Limnology and Oceanography* 12:343-346.

Loza V, Perona E, Mateo P. 2013. Molecular Fingerprinting of Cyanobacteria from River Biofilms as a Water Quality Monitoring Tool. *App. Environ. Microbiol.* 79(5):1459-1472.

Mack RN, Simberloff D, Lonsdale WM, Evans H, Clout M, Bazzaz F. 2000. Biotic invasions: causes, epidemiology, global consequences, and control. *Ecol. Appl.* 10:689-710.

Mainstone CP, Parr W. 2002. Phosphorus in rivers-ecology and management. *Sci. Total. Environ.* 282-283:25-47.

Mrakovčić M, Mustafić P, Mišetić S, Plenković-Moraj A, Mihaljević Z. i sur. 2009. Fizikalno-kemijske, biološke i ihtiološke značajke nadzemnih voda hidroenergetskog sustava HE Varaždin, HE Čakovec i HE Dubrava u 2008. godini. Elaborat. PMF, Zagreb.

Matoničkin I, Pavletić Z. 1972. *Život naših rijeka – biologija tekućih voda*. Školska knjiga, Zagreb.

Meštrov M, Tavčar V, Zebec M, Deželić N, Dešković I. 1976. Saprobiological and Phisico-chemical Studies of the River Drava and Mura. *Bull. Sci. Sect. A Yugosl.* 21(7-9):145-146.

Meštrov M, Tavčar V, Zebec M, Deželić N, Dešković I. 1979. Onečišćenje rijeke Drave i Mure prema višegodišnjim ekološkim istraživanjima. *Ekologija* 14(1):57-73.

Mihaljević M, Stević F, Horvatić J. 2004. The influence of extremely high floodings of the Danube River (in August 2002) on the trophic conditions of lake Sakadaš (Nature Park Kopački rit, Croatia). *Limnological Reports*, Novi Sad, Serbia and Monte Negro 35:115-121.

Mihaljević M, Špoljarić D, Stević F, Cvijanović V, H. Kutuzović B. 2010. The influence of extreme floods from the River Danube in 2006 on phytoplankton communities in a floodplain lake: Shift to a clear state. *Limnologica – Ecology and Management of Island Waters*. 40(3): 260-268.

- Mihaljević M, Špoljarić D, Stević F, Žuna Pfeiffer T. 2013. Assessment of flood-induced changes of phytoplankton along a river-floodplain system using the morpho-functional approach. *Environ Monit Assess* 185:8601-8619.
- Mikuska Z. 1978. Komparativna saprobiološka istraživanja u donjem toku rijeke Drave. Disertacija. Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Munjko J, Lovrić E, Mikličan R, Legin V. 1979. Einfluss der Kunstdünger auf die Obarflächen-und Grundwässer der drau im Raum von Osijek. *Societas Internationalis Limnologiae, Internationale Arbeitsgemeinschaft Donauforschung*, Sofia 1976., 440-442.
- Nelson BW, Sasekumar A, Ibrahim ZZ. 1994. Neap-spring tidal effects on dissolved oxygen in two Malaysian estuaries. *Hydrobiologia* 285:7-17.
- Newbold JD, Elwood JW, O'Neill RV, Van Winkle W. 1981. Measuring nutrient spiralling in streams. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 38:860-3.
- Newman J, Bennion H, Carvalho L, Jones JI i sur. 2005. Eutrophication in rivers: an ecological perspective. Centre for Ecology and Hydrology.
- Ní Chatháin B, Harrington TJ. 2008. Benthic diatoms of the River Deel: diversity and community structure. *Biology and environment: proceedings of the Royal Irish Academy* 108B(1):29-42.
- Padisák J, Reynolds CS, Sommer U. 1993. Intermediate disturbance hypothesis in phytoplankton ecology: proceedings of the 8th workshop of the International Association of Phytoplankton Taxonomy and Ecology held in Baja (Hungary), 5-15 July 1991. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Padisák J, Crossetti LO, Naselli-Flores L. 2009. Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: A critical review with updates. *Hydrobiologia* 621:1-19.
- Plenković-Moraj A. 1995. Diatoms (Bacillariophyceae) of the croatian freshwater. *Acta Bot. Croat.* 54:23-33.

Plenković-Moraj A, Gligora M, Kralj K, Mustafić P. 2007. Diatoms in monitoring of Drava River, Croatia. *Large Rivers* 17 (3-4), *Arch. Hydrobiol. Suppl.* 161(3-4):511-525.

Popović Ž. 1985. Fitoplankton rijeke Drave kraj Osijeka. Magistarski rad. Sveučilište u Zagrebu, Postdiplomski studij prirodnih znanosti-biologija. Zagreb, 1-143.

Report of SCOR UNESCO. 1966. Determination of photosynthetic pigments in sea-water. UNESCO. Paris.

Reynolds CS. 1980. Phytoplankton assemblages and their periodicity in stratifying lake systems. *Holarctic Ecology* 3:141-159.

Reynolds CS. 1988. Potamoplankton: paradigms, paradoxes, prognoses. (In:) Round FE. (ed.): *Algae and the aquatic environment*: 285-311. Biopress, Bristol.

Reynolds CS. 1988a. Functional morphology and adaptive strategies of freshwater phytoplankton. In Sandgren CD (ed), *Growth and Reproductive Strategies of Freshwater Phytoplankton*. Cambridge University Press, Cambridge 388-433 pp.

Reynolds CS. 1994. The long, the short and the stalled: on the attributes of phytoplankton selection by physical mixing in lakes and rivers. *Hydrobiologia* 289:9-21.

Reynolds CS. 2006. *The Ecology of Phytoplankton*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Reynolds CS, Descy JP. 1996. The production, biomass and structure of phytoplankton in large rivers. *Archiv für Hydrobiologie – Supplement* 133, *Large Rivers* 10, 187-198.

Reynolds CS, Descy JP, Padisák J. 1994. Are phytoplankton dynamics in river so different from those in shallow lakes? *Hydrobiologia* 289(1)1-7.

Reynolds CS, Huszar V, Kruk C, Naselli-Flores L, Melo S. 2002. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. *Journal of Plankton Research* 24:417-428.

Reynolds CS, Petersen AC. 2000. The distribution of planktonic Cyanobacteria in Irish lakes in relation to their trophic states. *Hydrobiologia* 424:91-99.

Riđanović Z. 1975. *Geografija SR Hrvatske*. Istočna Hrvatska. Vode. Školska knjiga, Zagreb, 27-34 pp.

Robarts RD, Zohary T. 1987. Temperature effects on photosynthetic capacity, respiration, and growth rates of bloom-forming cyanobacteria. *N.Z. J. Mar. Freshwater Res.* 21:391-399.

Rojo C, Alvarez Cobelas M, Arauzo M. 1994. An elementary structural analysis of river phytoplankton. *Hydrobiologia* 289:43-55.

Round FE, Crawford RM, Mann DG. 1990. *The Diatoms, Biology and Morphology of the Genera*. Cambridge University Press., Cambridge, UK, 747 pp.

Salmaso N, Naselli-Flores L, Padisák J. 2012. Impairing the largest and most productive forest on our planet: How do human activities impact phytoplankton? *Hydrobiologia* 698:375-384.

Salmaso N, Padisák J. 2007. Morpho-functional groups and phytoplankton development in two deep lakes (Lake Garda, Italy and Lake Stechlin, Germany). *Hydrobiologia* 578:97-112.

Salmaso N, Zignin A. 2010. At the extreme of physical gradients: phytoplankton in highly flushed, large river. *Hydrobiologia* 639(1):21-36.

Schmidt A. 1994. Main characteristics of phytoplankton of the Southern Hungarian section of the River Danube. *Hydrobiologia* 289:97-108.

Seckbach J, Kociolek P. 2011. *The Diatom World*. Vol. 19 Cellular Origin, Life in Extreme Habitats and Astrobiology. Springer, London.

Sommer U. 1988. Growth and survival strategies of planktonic diatoms. In Sandgren CD (Ed.), *Growth and reproduction strategies of freshwater phytoplankton*, Cambridge Press, Cambridge 227-260 pp.

Sommer U, Gliwicz ZM, Lampert W, Duncan A. 1986. The PEG-model of seasonal succession of planktonic events in fresh water. *Arc. Hydrobiol.* 106(4):433-471

Sournia A. 1978. *Phytoplankton Manual*. Monographs on Oceanographic Methodology. No. 6, Unesco, Paris, 337 pp.



Stanković I. 2013. Fitoplankton kao pokazatelj ekološkog stanja velikih nizinskih rijeka Hrvatske. Doktorska disertacija. Prirodoslovno-matematički fakultet u Zagrebu, Zagreb.

Stanković I, Vlahović T, Varbiro G, Borics G. 2012. Phytoplankton functional and morphofunctional approach in large floodplain rivers. *Hydrobiologia* 698(1):217-231.

Starmach K. 1966. *Flora słodkowodna Polski. Tom 2: Cyanophyta-sinice Glaucophyta-Glaukofity*. Państwowe wydawnictwo naukowe, Warszawa.

Stević F, Mihaljević M, Horvatić J. 2005. Interactions between microphytoplankton of the Danube, its sidearms and wetlands (1426-1388 r. Km, Croatia). *Period Biol* 107:299-304.

Stoyanova MP. 1994. Shallow of the lower Danube as additional sources of potamoplankton. *Hydrobiologia* 289:97-108.

Strahler AN. 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Trans. Am. Geophys. Union* 38:913-20.

Strickland JDH, Parsons TR. 1972. *A practical handbook of seawater analysis*. Fisheries Research Board of Canada, Ottawa, Bulletin 167:1-310.

Šošarić N, Stilinović B. 1975. Die Grössen der Selbstreinigung des Flusses Drau, 18. Jahres-Arbeits tagung der Internationalen Arbeitsgemeinschaft Donauforschung, Regensburg, 325-344.

Telišman Ž, Zmaić B, Petrik B. 1974. Statistička analiza nekih pokazatelja onečišćenja Drave, Mure i Save. Republički sekretarijat za privredu SR Hrvatske, Zagreb.

Telišman Ž, Zmaić B, Zebec M, Petrik B, Deželić N. 1973. Statistička analiza nekih pokazatelja onečišćenja Drave, Mure i Save. I Jugoslavenski simpozij „Kemija i okoliš“, Sinopsis abstracts, Zagreb, 439 pp.

Uredba o klasifikaciji voda. 1998. *Narodne novine* br. 77/98.

Utermöhl H. 1985. Zur Vervollkommung der quantitativen Phytoplankton-Metodik. *Mitteilungen der Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie* 9:1-38.

Vannote RL, Minshall GW, Cummins KW, Sedell JR, Cushing CE. 1980. The river continuum concept. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 37:130-7.

Várbíró G, Borics G, Kiss KT, Szabo KE, Plenković-Moraj A, Ács E. 2007. Use of Kohonen Self Organizing Maps (SOM) for the characterization of benthic diatom associations of the River Danube and its tributaries. *Large Rivers* 17(3-4):395-403.

Verasztó CS, Kiss KT, Sipkay CS, Gimesi L, Vadadi-Fülöp CS, Türei D, Hufnagel L. 2010. Long-term dynamic patterns and diversity of phytoplankton communities in a large eutrophic river (the case of River Danube, Hungary). *Applied Ecology and Environmental Research* 8(4):329-349.

Wang L, Y. Xu L, Kong L, Tan i Zhang M. 2011. Weekly dynamics of phytoplankton functional groups under high water level fluctuations in a subtropical reservoir-bay. *Aquatic Ecology* 45:197-212.

Wehr JD, Descy JP. 1998. Use of phytoplankton in large river management. *J. Phycol.* 34:741-749.

Wetzel RG. 2001. *Limnology: Lake and River Ecosystems*. Academic Press, San Diego, California.

Whitton BA, Rott E. 1996. *Use of algae for monitoring rivers II*: Proc. 2nd Europ. Workshop, Innsbruck 1995, Univ. Innsbruck, Innsbruck. 196 pp.

Winter JG, Young JD, Landre A, Stainsby E, Jarjanazi H. 2011. Changes in phytoplankton community composition of Lake Simcoe from 1980 to 2007 and relationships with multiple stressors. *Journal of Great Lakes Research* 37(3):63-67.

Woynarovich E. 1944. *Ein Querschnitt durch die limnologischen Verhältnisse des Beller und Kopacser Teiches, sowie der Donau und Drau*. Albertina 1. 34-64 pp.

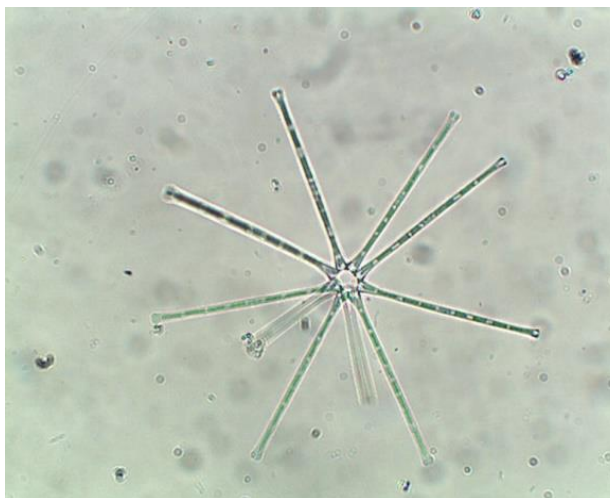
Yamamoto Y. 2009. Environmental factors that determine the occurrence and seasonal dynamics of *Aphanizomenon flos-aque*. *J. Limnol.* 68:122-132.

**Internetski/web izvori:**

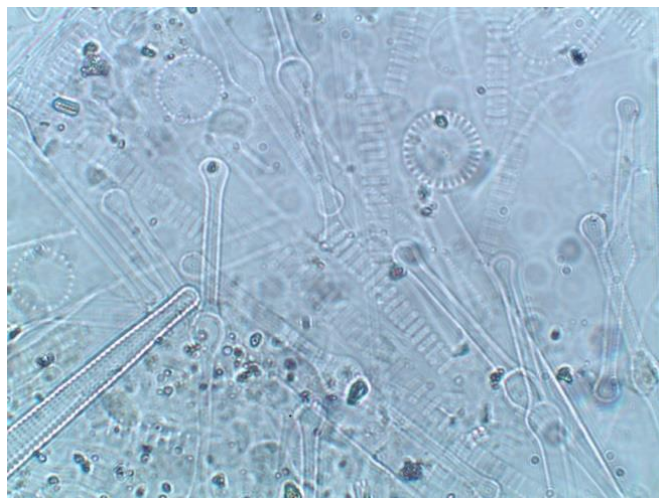
1. <http://www.fao.org/docrep/003/X6841E/X6841E02.HTM>
2. [http://www.oxbowriver.com/Web\\_Pages/Stream\\_Ecology\\_Pages/Ecology\\_Riparian/Ecology\\_RCC.html](http://www.oxbowriver.com/Web_Pages/Stream_Ecology_Pages/Ecology_Riparian/Ecology_RCC.html)
3. [https://en.wikipedia.org/wiki/International\\_Commission\\_for\\_the\\_Protection\\_of\\_the\\_Danube\\_River](https://en.wikipedia.org/wiki/International_Commission_for_the_Protection_of_the_Danube_River)
4. <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=16202>
5. <http://www.see-river.net/about-river.html>
6. <https://www.google.hr/maps/@45.5641756,18.6910371,1076m/data=!3m1!1e3?hl=hr>
7. [http://westerndiatoms.colorado.edu/about/what\\_are\\_diatoms](http://westerndiatoms.colorado.edu/about/what_are_diatoms)

## 9. PRILOZI

Prilog 1. Fotografije pojedinih vrsta fitoplanktona određenih tijekom kvalitativne analize (Fotografije: K.Peharda)



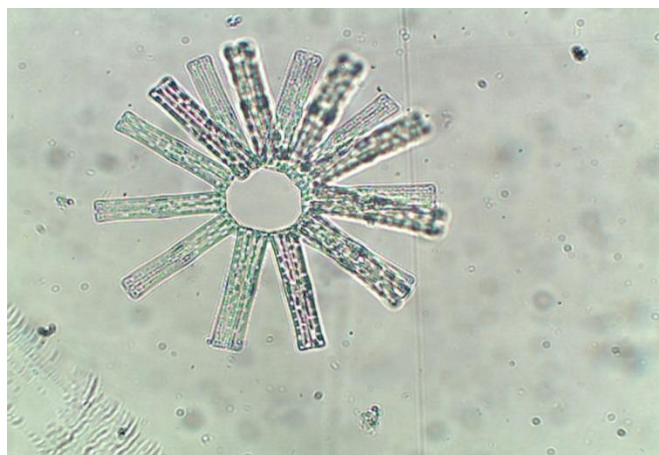
Slika 9.1. *Asterionella formosa*



Slika 9.2. *Stephanodiscus hantzschii* (desno) i *Cyclotella meneghiniana* (lijevo)



Slika 9.3. *Synedra ulna*



Slika 9.4. *Tabellaria fenestrata*

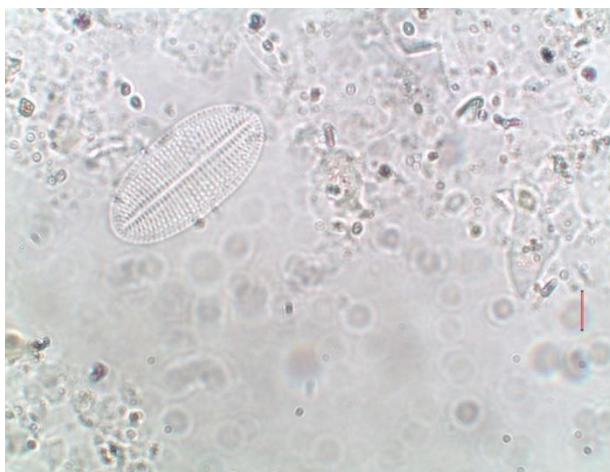


Slika 9.5. *Fragilaria acus*

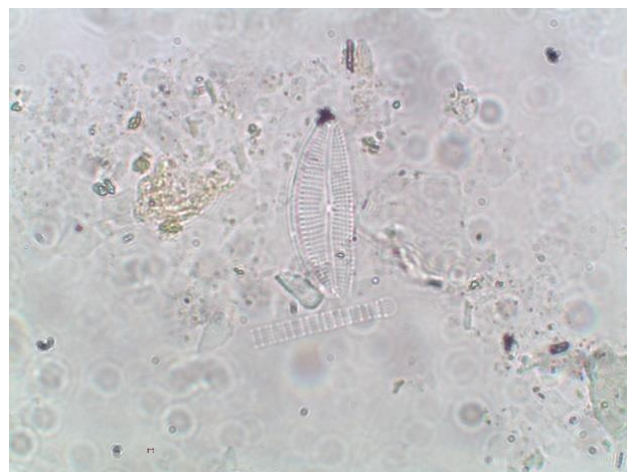


Slika 9.6. *Nitzschia sigmoidea*





Slika 9.7. *Cocconeis placentula*



Slika 9.8. *Cymbella cistula*



Slika 9.9.. *Aphanisomenon gracile*



Slika 9.10. *Dictyosphaerium pulchellum*



Slika 9.11. *Koliella longiseta*



Slika 9.12. *Didymosphenia geminata*  
invazivna vrsta rijeke Drave

